



República de Cuba

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de Diploma

Título: Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica en la Empresa Eléctrica Cienfuegos.

Autor: Maidely Fernández Rodríguez

Tutor: Berlan Rodríguez Pérez

Cienfuegos, Cuba 2012.



Dedicatoria

A toda **mi familia**, por que sin ellos yo no sería quien soy.

Especialmente a dos personas que hoy no están conmigo pero sé que se sentirían muy orgullosos de mí, **mi abuela**: Emma y **mi abuelo**: Tomás.

Agradecimientos

A mis profesores, por compartir sus conocimientos y exhortarnos cada día a ser mejores.

A mis compañeros de aula, que hicieron que cada día me sintiera alegre, aún en momentos de tensión. Sobre todo Darol, Roberto, el Guille, Dayana, Darelys, Elizabeth, Sarait y Maday. Gracias a todos porque aunque no pensáramos igual siempre nos mantuvimos unidos y pasamos cinco años maravillosos.

A mi tutor Berlan, el cual soportó todas mis preguntas e insistencia y me aportó sus experiencias y conocimientos.

A los trabajadores de Generación, que de una forma u otra me brindaron sus conocimientos.

A Noel y a Pedro, por brindarme parte de su tiempo para el desarrollo de mi tesis.

A mi papá, que siempre estuvo interesado por mi tesis y corrió conmigo a todos los lugares.

A mi mamá, a mi hermano, a mis abuelos y abuelas, a mi tía, a mi tía (madrina), a mi tío (padrino) y a mi primo y primas, porque todos forman parte de lo que hoy soy y de lo que seré mañana.

A Ruli, que estuvo a mi lado estos cinco años y siempre me apoyó y me ayudó cuando lo necesité.

Y a todos aquellos, que me ayudaron de una forma u otra estos cinco años y en la realización de mi tesis.

Resumen

La presente investigación titulada “Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica en la Empresa Eléctrica Cienfuegos” tiene como objetivo evaluar y comparar el perfil ambiental de la generación distribuida con respecto a otras fuentes de generación de energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos.

Para el desarrollo del trabajo se utilizan técnicas de recopilación de información tales como: la entrevista personal, la revisión bibliográfica, la tormenta de ideas y el trabajo en equipo, las que sirven de apoyo para la construcción de los distintos diagramas y gráficos empleados.

Se toma como referencia la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que aparece en la serie de normas NC ISO 14040 y se complementa con el método de evaluación de categorías de impacto: Eco-Speed, predeterminado en la herramienta informática Open LCA. Además se emplea el programa estadístico Statgraphics Centurión para el análisis de los datos y del paquete de programas de Microsoft Office, el Excel, el Visio y el Word.

El estudio lleva a la obtención de conclusiones que dan cumplimiento a los objetivos propuestos al llegar a resultados concretos mediante la aplicación del método de ciclo de vida a la generación distribuida de electricidad. Además se proponen una serie de medidas que deben ser aplicadas en las centrales de generación distribuida de energía eléctrica para la disminución del consumo de los recursos y del impacto ambiental que estas producen.

Abstract

This research entitled "Life Cycle Analysis of distributed generation of electricity in the Utility Cienfuegos" aims to evaluate and compare the environmental profile of distributed generation with respect to other sources of electricity generation in the province of Cienfuegos.

To develop the paper uses data collection techniques such as personal interviews, literature review, brainstorming and teamwork, which support the construction of the various charts and graphs employees.

It draws on the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) that appears in the series of standards ISO 14040 and NC is complemented by the method of assessing impact categories: Eco-Speed, default Open the computer tool LCA. It also uses the program Statgraphics Centurion for the analysis of the data and the software package Microsoft Office, Excel, Visio and Word.

The study leads to drawing conclusions that give effect to the objectives to achieve concrete results through the application of life cycle approach to distributed generation of electricity. It also proposes a series of measures to be applied in distributed power generation of electricity for the reduction of resource consumption and environmental impact they produce.

Índice

Introducción	2
Capítulo I: Marco teórico.	7
1.1 Sistema de Gestión Ambiental.....	8
1.1.1 Herramientas del Sistema de Gestión Ambiental.	10
1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta medioambiental.....	13
1.2.1 Evolución de la metodología ACV.	15
1.2.2 El desarrollo de un ACV y sus etapas.	16
1.2.3 Normativas que rigen el ACV.....	17
1.2.4 Ventajas y desventajas del método ACV.....	18
1.2.5 Aplicaciones del ACV.....	20
1.3 Herramientas informáticas utilizadas en el ACV.	23
1.3.1 GaBi4.4.....	23
1.3.2 Simapro 7.0	23
1.3.3 Team.	24
1.3.4 Open LCA.	24
1.4 Metodologías del Análisis del Ciclo de Vida.	25
1.4.1 Impact 2002.	25
1.4.2 Eco-Indicador 99.....	26
1.4.3 ReCiPe 2008.	26
1.4.4 Eco-Speed.....	26
1.5 La energía eléctrica.	27
1.5.1 La energía eléctrica y su impacto medio ambiental.....	28

1.5.2 Energía eléctrica y sociedad.	30
1.5.3 Industria Eléctrica en Cuba.	31
1.5.4 La generación distribuida de energía eléctrica.	32
1.5.4.1 La generación distribuida de energía eléctrica en Cuba y su interacción con el medio ambiente.....	33
Conclusiones Parciales	35
Capítulo II: Caracterización de la empresa y metodología a implementar	37
2.1 Caracterización del objeto de estudio	37
2.1.1 Empresa Eléctrica Cienfuegos	37
2.1.1.1 Central eléctrica de Fuel Oil-Cruces.....	40
2.1.1.2 Central eléctrica Diesel - Junco Sur.....	41
2.2 Necesidad del estudio.	42
2.2 Metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).	45
2.2.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.....	46
2.2.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.....	47
2.2.3 Etapa 3: Evaluación del impacto	49
2.2.3.1 Método de impacto ambiental empleado.	51
2.2.3 Procesamiento de los datos obtenidos.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras.....	57
Conclusiones Parciales	58
Capítulo III: Aplicación del procedimiento.....	60
3.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.	60
3.1.1 Objetivos.....	60
3.1.2 Alcance del estudio.....	60
3.2 Etapa 2: Análisis del inventario.	61

3.2.1 Recolectar los datos.....	61
3.2.1.1 Descripción del proceso de generación distribuida de energía eléctrica en la central Fuel Oil - Cruces.	61
3.2.1.2 Descripción del proceso de generación distribuida de energía eléctrica en la central Diesel - Junco Sur.	72
3.2.2 Construcción de los diagramas de procesos.....	80
3.2.3 Procesamiento de los datos obtenidos.....	80
3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto	80
3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.....	86
Conclusiones Parciales	92
Conclusiones Generales	94
Recomendaciones.....	96
Bibliografía.....	97
Anexos	104

Introducción

En la actualidad, legar a las futuras generaciones un Medio Ambiente apto para la continuidad de la civilización se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En el marco de la globalización de las economías no es posible estar al margen de esta preocupación. En estos días, los consumidores son más exigentes, tanto en la conservación de los recursos naturales y en la protección del Medio Ambiente, como en la calidad de los productos y servicios que reciben. Por tal motivo, la industria enfrenta el reto de producir con alta calidad y satisfacer las expectativas de los consumidores y de otras partes interesadas en el tema de la protección del Medio Ambiente. (Romero, Rodríguez, 2003)

En las últimas décadas, el reconocimiento de los asuntos ambientales y socioeconómicos ha aumentado enormemente. La humanidad está tornando cada vez más consciente de que el consumo de productos manufacturados y de servicios ofrecidos contribuye de cierta forma, a los efectos adversos sobre los recursos y la calidad del Medio Ambiente. Estos efectos pueden tener lugar en todas las etapas del ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia prima hasta la fabricación, distribución y consumo del producto e incluyen una serie de opciones para la gestión de los residuos. (De la Concepción et al., s.d.)

Tradicionalmente, y debido a las profundas implicaciones que tiene la generación de energía sobre el desarrollo económico y el bienestar social, el objetivo de la política energética ha consistido en garantizar los requerimientos de energía de la sociedad, a un precio que no ponga en riesgo la competitividad de la actividad económica de las empresas, ni la accesibilidad a los recursos energéticos de los hogares.

En los últimos años se ha añadido un objetivo adicional a esta política, la reducción del impacto del sistema energético sobre el Medio Ambiente, que se concreta en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos dañinos para el Medio Ambiente y la salud. Este último objetivo ha supuesto un gran condicionante en el diseño de las políticas energéticas de la última década.

La reciente coyuntura de crisis económica ha hecho que las autoridades de los países y también las autoridades supranacionales, reevalúen el equilibrio de prioridades entre los tres objetivos de la política energética: garantía de suministro, competitividad y sostenibilidad ambiental. Analizando las medidas adoptadas, y refiriéndonos a escala agregada, se puede concluir que no se ha relajado la exigencia de un sistema energético bajo en carbono.

En algunos países con presiones en sus cuentas públicas, paradójicamente los más desarrollados, se está prestando una mayor atención a la optimización de los costes, pero en términos generales no se han reducido los objetivos medioambientales definidos en la etapa de anterior a la crisis. En los países en desarrollo, especialmente en Asia y en Latinoamérica, el compromiso con un sistema energético menos contaminante se está fortaleciendo. Se puede afirmar que el objetivo de reducir el impacto ambiental se mantiene, y que en paralelo, este objetivo se ha visto complementado por la creciente necesidad de abaratamiento de costes del sistema energético, lo que ha llevado a un mayor desarrollo de tecnologías de producción de energía limpia con menor coste económico.

Asimismo, se ha de tener en cuenta el progresivo avance de la electricidad en el modelo energético de los países desarrollados durante los últimos años. La mayor versatilidad como fuente de energía final, así como también sus mayores ventajas en materia de transporte al por mayor y posterior distribución al por menor, hacen que el consumo de energía eléctrica este sustituyendo a otras formas alternativas de energía final. Pero además de aportar importantes ventajas para los consumidores, el mayor peso de la electricidad en el modelo energético, también facilita la ampliación de las medidas de eficiencia energética. Además el uso de energías limpias en la generación de electricidad permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y contribuye a mitigar la vulnerabilidad derivada de la dependencia de los combustibles de origen fósil.(Becker Zuazua, 2011).

El Consejo Mundial de Energía, (WEC, por sus siglas en inglés) llevó a cabo una compilación de estudios de análisis de ciclo de vida de diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica desarrollados en los últimos 15 años a nivel internacional. Estos análisis consideraron la cadena completa de producción de energía, desde la exploración y la extracción hasta su uso final, pasando por almacenamiento, transporte, transformación en combustibles secundarios; es decir, la energía primaria desde su origen hasta su uso final. De esta forma, se determinó la accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad de la producción de energía eléctrica.(García Bermúdez, 2011)

Con el triunfo de la revolución se adquiere conciencia del grado de deterioro de nuestro Medio Ambiente y se empiezan a dar los primeros pasos necesarios para revertir la situación, formándose normativas para proteger el Medio Ambiente, las que tienen que cumplir las empresas e industrias que constituyen fuentes contaminantes y las que se crean nuevas tienen que cumplir el requisito de no dañar el Medio Ambiente, siendo sus producciones sostenibles.(De la Concepción et al., s.d.)

En el Ministerio de la Industria Básica la protección ambiental constituye un objetivo fundamental, y es asumido por la Dirección de cada Entidad como una responsabilidad directa y

prioritaria. La responsabilidad de la Dirección y la participación activa de todo el personal, es el elemento clave para el éxito y desarrollo de un correcto Sistema de Gestión Ambiental, para este se apoyan en conjunto de leyes como son la (Ley 81:1997 del Medio Ambiente), el Sistema de Normas Cubanas de protección del Medio Ambiente (grupo 93) y el Sistema de Normas ISO-14000, además de un conjunto de Leyes, Decretos, Resoluciones y otras disposiciones legales que completan la documentación vigente.

Situación Problemática

En la provincia de Cienfuegos la Empresa Eléctrica cuenta con diez centrales de generación distribuida (ocho centrales eléctricas diesel y dos centrales eléctricas fuel oil). De las centrales eléctricas diesel: siete son de tecnología MTU y una de tecnología Scania, las cuales por la configuración de los motores generadores se presentan dentro del territorio en tres instalaciones de baterías: Junco Sur con dieciséis motores MTU~4000, Cruces con ocho motores MTU~4000 y el Tablón con once motores generadores de tecnología Scania, además de cinco instalaciones aisladas que están conformadas por dos motores MTU 4000 o MTU 2000 según su esquema constructivo.

Las dos centrales eléctricas fuel oil Cruces y Yaguaramas son de tecnología Hyundai están constituido por un total de 12 motores-generadores agrupado en 3 baterías ó bloques de 4 motores generadores cada uno, funcionan ininterrumpidamente interconectado al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Las ocho centrales diesel son plantas generadoras de reservas para el horario pico, cuando hay una alta demanda de energía funcionando de forma discontinua en el día cuando el SEN lo requiera.

Se conoce que:

- Al término del año 2011 la empresa recibió 5 498 733 litros de diesel y 37 150 466 litros de fuel oil para el consumo de las centrales eléctricas con un costo de 3 762 035,5 y 16 655 480 CUP respectivamente.
- Existen pocos estudios sobre el impacto ambiental que provoca la generación distribuida en el Medio Ambiente y en la salud del ser humano considerando todos los componentes involucrados en la misma.
- No se han realizados comparaciones entre la generación distribuida y otras fuentes de generación de electricidad desde el punto de vista ambiental.

Problema de investigación

¿Cómo cuantificar el inventario de ciclo de vida y los impactos ambientales potenciales de la generación distribuida, con vista a compararlos con otras fuentes de generación de electricidad?

Hipótesis

La aplicación del análisis de ciclo de vida permitirá evaluar y comparar el perfil ambiental de la generación distribuida.

Objetivos Generales

Evaluar y comparar el perfil ambiental de la generación distribuida con respecto a otras fuentes de generación de energía eléctrica en la provincia de Cienfuegos.

Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización de la generación distribuida en la provincia de Cienfuegos a partir del Diesel y del Fuel Oil.
- Efectuar el inventario de ciclo de vida de la generación distribuida con fuel oil y diesel a través de un estudio de incertidumbre.
- Valorar el perfil ambiental de los inventarios realizados y contrastarlos con los de otras formas de generar electricidad.

Conceptualización y Operacionalización de las variables

Variables	Independiente: Metodología a aplicar para analizar los impactos ambientales	Dependiente: Cuantificación Impactos Ambientales Potenciales
Conceptualización	La metodología a aplicar es el Análisis de Ciclo de Vida, que permite evaluar los impactos de un producto o proceso.	Características que reflejan la contribución de cierto producto o proceso al Medio Ambiente.
Operacionalización	Utilización de la familia de normas NC-ISO 14040.	Cálculo de los impactos resultantes.

Tipo de investigación

La presente investigación es descriptiva-correlacional porque en ella se pretende detallar y relacionar las emisiones y materiales utilizados con la evaluación de los impactos que generan al Medio Ambiente el proceso de la generación distribuida de energía eléctrica.

Justificación de la investigación

Con esta investigación se podrá:

- Conocer los impactos que provoca la generación distribuida de energía eléctrica con fuel oil y diesel al Medio Ambiente, tema de gran importancia en la actualidad por el deterioro que

viene sufriendo el Medio Ambiente provocando la alteración de los ecosistemas e importantes pérdidas de calidad de vida en algunas zonas .

- Contrastar la producción de energía eléctrica de la generación distribuida con la de las centrales termoeléctricas en cuanto a los daños que provocan al Medio Ambiente mediante un estudio que incluye desde la cuna a la tumba a todos los elementos involucrados en la investigación.
- Trazar medidas enmarcadas al ahorro económico para minimizar gastos innecesarios para el país y mitigar el impacto Medio Ambiental del proceso de la generación distribuida, dando respuesta a los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.

Al concluir, la investigación queda estructurada de la siguiente forma:

Capítulo I: Marco teórico.

En este capítulo, se realiza una síntesis de los elementos necesarios para la fundamentación de la investigación. En el se analiza el ciclo de vida como herramienta medioambiental, las herramientas informáticas y las metodologías más relevantes para su aplicación. Además se realiza un recorrido por la energía eléctrica y la generación distribuida de esta.

Capítulo II: Caracterización de la empresa objeto de estudio y metodología a utilizar. En el se desarrolla una caracterización de la Empresa Eléctrica Cienfuegos y de las Centrales Eléctricas distribuidas: Fuel Oíl-Cruces y Diesel-Junco Sur. Además se plantea la metodología para evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de la generación distribuida de energía eléctrica basada en la familia de normas NC-ISO 14 040.

Capítulo III: Aplicación del procedimiento.

Este capítulo recoge la aplicación de la metodología de ACV y el análisis de los resultados obtenidos en busca de potenciales mejoras que respondan a los factores identificados como causas de los potenciales impactos medioambientales producidos por las cargas asociadas a las entradas y salidas del proceso.



Capítulo I

Capítulo I: Marco teórico.

Si bien hasta hace unos pocos años parecía que los recursos naturales y la energía disponible eran prácticamente inagotables y que podía emitirse, casi sin límite, sin que la naturaleza sufriese cambios apreciables, hoy se tiene constancia de que esto no es así. El efecto invernadero, el agujero en la capa de ozono, la acidificación o la eutrofización, entre otros, son fenómenos indeseables comprobados, que los expertos y también el conjunto de la población conoce. El deterioro que viene sufriendo el Medio Ambiente, además de alterar el ecosistema, resulta en muchos casos perjudicial para la salud humana o representa importantes pérdidas de la calidad de vida en algunas zonas; lo que ha provocado una gran inquietud entre sectores representativos de nuestra sociedad, tanto del ámbito gubernamental como de la propia sociedad civil. Las preocupaciones marcadas en otras épocas respecto al futuro, así como las posiciones meramente ideológicas, se han visto sustituidas por acciones que efectivamente buscan frenar parte de estos efectos negativos, causados por las actividades del hombre.

En los últimos años, el aumento significativo de la conciencia ambiental, ha puesto de manifiesto la necesidad de que todos los sectores productivos; incluyendo el sector energético, de gran importancia desde el punto de vista económico como del impacto medioambiental en sus diferentes vertientes: consumo de recursos renovables o no renovables, contaminación del aire y del agua, alteración de ecosistemas en diferentes tipos de obra (por ejemplo en presas) o la generación de residuos; concentren esfuerzos en controlar y reducir sus participaciones en las acciones que contribuyan a dañar al Medio Ambiente.

Esta nueva forma de producir, sin frenar el desarrollo y sin comprometer la sostenibilidad, requiere de evaluaciones medioambientales que permitan reconocer, cuantificar y calificar los Impactos Ambientales que se producen de diferentes formas en las distintas etapas del Ciclo de Vida de los productos, y dan lugar a efectos contaminantes sobre el entorno ambiental. Por lo que respecta a esta problemática existen diversas metodologías científicas que permiten apoyar la Gestión Medioambiental de estos productos, procesos o servicios y en este capítulo se pretende realizar un análisis de las mismas y profundizar en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el cual ha demostrado una capacidad adecuada para valorar y evaluar los Impactos potenciales al Medio Ambiente ocurridos durante el Ciclo de Vida completo de un producto o proceso, además se presenta como una herramienta efectiva y de apoyo a la Gestión de los aspectos medioambientales. Además se abordan diferentes herramientas informáticas y metodologías utilizadas en el ACV para escoger las más adecuadas para la presente investigación. A

continuación se realiza un recorrido por el sector eléctrico, la Generación Distribuida de energía eléctrica y su relación con el Medio Ambiente.

1.1 Sistema de Gestión Ambiental.

Es la parte del Sistema General de Gestión, que incluye la estructura organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implantar, realizar, revisar y mantener la política ambiental (ISO 14 001: 2006).

Un Sistema de Gestión Ambiental es un proceso cíclico de planificación, implantación, revisión y mejora de los procedimientos y acciones que lleva a cabo una organización para realizar su actividad garantizando el cumplimiento de sus objetivos ambientales (Martínez, 2003).

Se entiende como gestión ambiental al conjunto de acciones emprendidas por la sociedad, o parte de ella, con el fin de proteger el Medio Ambiente. Sus propósitos están dirigidos a modificar una situación actual a otra deseada, de conformidad a la percepción que sobre ella tengan los actores involucrados. La Gestión Ambiental no solamente está referida al gobierno, sino que crecientemente depende de fuerzas sociales de muy diversa naturaleza. (Rodríguez Becerra, 2005)

La mayoría de los Sistemas de Gestión Ambiental están contruidos bajo el modelo: Planificar, Implantar, Verificar y Revisar, lo que permite cerrar el ciclo con la mejora continua del sistema como se ilustra en el Modelo de Gestión Ambiental de la figura 1.1.

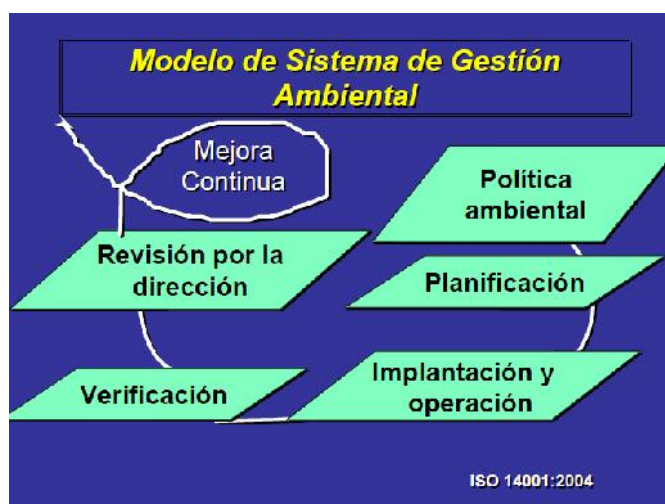


Figura 1.1: Modelo de Sistema de Gestión Ambiental. **Fuente:**(Quintana Marisela, 2008).

La implantación de un Sistema de Gestión Medioambiental implica la realización de las siguientes etapas que se muestra en la figura 1.2:

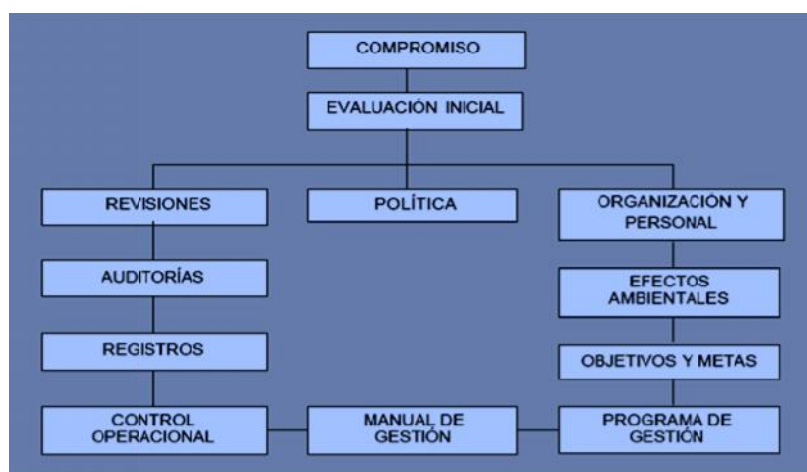


Figura 1.2: Etapas de un Sistema de Gestión Ambiental. **Fuente:** (Mosulen, 2004).

En la actualidad existen normas de calidad en las que se basa el diseño de los Sistemas de Gestión Ambiental:

- Normas UNE (Unión de Normas Españolas).
- Normas ISO-14000, aceptadas en todo el mundo.
- Reglamento CEE 1836/93: Es el reglamento europeo que establece el Sistema Comunitario de Ecogestión y Ecoauditoría (EMAS).

La Gestión Medioambiental hace referencia a todas las actuaciones que contribuyen a:

- Cumplir los requisitos de la legislación medioambiental vigente.
- Mejorar la protección ambiental.
- Reducir los impactos de la propia organización sobre el Medio Ambiente al controlar los procesos y actividades que los generan.

Todas estas actividades, de forma conjunta y planificada dentro de una organización, conformarán el Sistema de Gestión Medioambiental (también conocido por su abreviatura SGMA), que proporciona una metodología estructurada dirigida hacia la mejora continua.

Un SGMA es el marco o el método de trabajo que sigue una organización para lograr y mantener un determinado comportamiento de acuerdo con las metas que se hubiere fijado y como respuesta a una norma, unos riesgos ambientales y una presión tanto social como financiera, económica y competitiva en permanente cambio.(Conesa, V. & Fernández, V, 2005).

El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso aplicando las herramientas que se detallan en el epígrafe siguiente, además

tienen la responsabilidad sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor como se argumenta .

1.1.1 Herramientas del Sistema de Gestión Ambiental.

La necesidad de estudiar, desde el punto de vista medioambiental todas las interrelaciones que ocurren a lo largo del ciclo de vida, exige el empleo de métodos fiables que cuantifiquen o valoren todas estas acciones y sus efectos. Así, a la hora de tratar este tema es necesario proporcionar las respuestas adecuadas para atender a los objetivos esperados, entonces habrá que emplear herramientas que permitan medir los diversos tipos de parámetros, tanto aquellos clasificados de cuantificables como los de difícil cuantificación. Entre los parámetros cuantificables están incluidos los relacionados con el consumo de materias primas, consumo de agua y energía, emisiones de efluentes líquidos, emisiones de gases a la atmósfera, residuos sólidos, generación de coproductos, entre otros. Estos parámetros, pueden ser tratados a través de modelos, como por ejemplo, los de la base conceptual del Análisis del Ciclo de Vida. Mientras los de difícil cuantificación, por ejemplo, los riesgos potenciales, cambios geográficos, impactos visuales del entorno o escasez de recursos son tratados con otras herramientas desarrolladas para tal fin (Trinius Wolfram, 1999). Cada una de estas herramientas ofrece diferentes formas de afrontar el problema y suministran diversas informaciones útiles a la hora de una toma de decisión, teniendo en cuenta que cada una de ellas recoge, estructura y valora informaciones según determinados aspectos, resultando, en algunos casos, hasta complementarios entre sí.

En la siguiente tabla se presentan algunas de las principales herramientas disponibles para la Gestión Ambiental de sistemas de producción o producto y a continuación se profundiza en cada una de ellas.

RA - Risk Assessment	➔	<i>Análisis de riesgo ambientales</i>
EIA - Environmental Impact Assessment	➔	<i>Estudio del impacto ambiental</i>
EAu - Environmental Auditing	➔	<i>Auditoria ambiental</i>
EPE - Environmental Performance Evaluation	➔	<i>Evaluación del comportamiento ambiental</i>
SFA - Substance Flow Analysis	➔	<i>Análisis del flujo de sustancia</i>
EMA - Energy and Material Analysis	➔	<i>Análisis de material y energía</i>
ISCM - Integrated Substance Chain Management	➔	<i>Gestión integral de sustancia</i>
PLA - Product Line Analysis	➔	<i>Análisis de línea de producción</i>
LCA - Life Cycle Assessment	➔	<i>Análisis del ciclo de vida</i>

Tabla 1.1: Herramientas conceptualmente similares usadas en los sistemas de gestión ambiental. **Fuente:**(SETAC, 1999).

Análisis de riesgos ambientales: El análisis de riesgos ambientales abarca una amplia gama de aplicaciones. Por ejemplo, con esta herramienta se pueden evaluar los riesgos ecológicos ocasionados por fuentes puntuales o difusas de emisiones, emisiones frecuentes o accidentales. También permite evaluar riesgos para la salud humana en el ámbito laboral, así como para ambientes exteriores con un cierto foco contaminante y la selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales.

La principal ventaja de análisis de riesgo es permitir pronosticar posibles impactos reales. Sin embargo, los datos para realizar estos pronósticos, dictan ciertas limitaciones a esta herramienta con respecto al consumo de tiempo y recursos y, consecuentemente, justificando su empleo para actividades de alto riesgo (Carvalho Filho, 2001).

Estudio del impacto ambiental: Antes de empezar determinadas obras públicas o proyectos que pueden producir impactos importantes en el ambiente, la legislación obliga a emplear esta herramienta y hacer una Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) que producirán si se llevan a cabo. La finalidad de la EIA es identificar, predecir e interpretar dichos impactos a fin de conocer si la obra debe ser aceptada, modificada o rechazada por la Administración Pública. Considera los efectos ambientales durante el período de construcción así, como también los que ocurren durante la operación de la planta.

Auditoría ambiental: Es la identificación, evaluación y control de los procesos industriales que pudiesen estar operando bajo condiciones de riesgo o provocando contaminación al ambiente, y consiste en la revisión sistemática y exhaustiva de una empresa de bienes o servicios en sus procedimientos y prácticas con la finalidad de comprobar el grado de cumplimiento de los aspectos tanto normados como los no normados en materia ambiental y poder en consecuencia, detectar posibles situaciones de riesgo a fin de emitir las recomendaciones preventivas y correctivas a que haya lugar (Programa Nacional de Auditoría Ambiental, 2008).

Evaluación del comportamiento ambiental: Es una herramienta interna que suministra al Sistema de Gestión Ambiental informaciones fiables, objetivas y verificables, de este modo se ayuda a la organización a determinar los logros en sus objetivos ambientales. Es, por lo tanto, un sistema de auditoría interna, que se basa en indicadores para medir, evaluar y verificar el comportamiento ambiental de una organización con respecto a determinados criterios preestablecido en su sistema de gestión (intenciones y objetivos ambientales). Permite enfocar tendencias de comportamiento medioambiental para una gama de actividades de una organización, es decir, los recursos consumidos, el proceso utilizado, productos y servicios resultantes.

Análisis del flujo de sustancia: El análisis del flujo de sustancia es una herramienta que permite hacer un balance del flujo de una determinada sustancia, a lo largo de todo el ciclo de vida de un sistema, incluyendo la producción y el uso de cierto producto a través de la contabilización de todas sus entradas y salidas. Con esta herramienta se puede mejorar la calidad medioambiental de un determinado producto a través de la aplicación de medidas de control o de reducción de una sustancia específica. Sin embargo, presenta el inconveniente de que al hacer referencia a una sola sustancia no es un método holístico y, por lo tanto, si ocurrieran cambios en el sistema como resultado del aumento del flujo de otras sustancias, éstas no podrían ser identificadas con el análisis de flujo de sustancia.

Análisis de material y energía: Se considera como el precursor del análisis del Ciclo de Vida, de hecho, las dos herramientas se confunden, ya que conceptualmente pueden compartir la misma base de datos. Utilizan como referencia la unidad funcional del sistema y su interpretación también está basada en el impacto potencial al Medio Ambiente causado por ciertas emisiones. La herramienta igualmente utiliza algoritmos para cuantificar todos los materiales y energías que entran y salen de un determinado sistema bajo estudio, admitiendo evaluar cierta etapa o fase del Ciclo de Vida de un producto.

Gestión integral de sustancia: La gestión integral de sustancia sirve tanto como apoyo a la toma de decisiones, como para comparar diferentes opciones con respecto a ciertas mejoras ambientales o económicas de un sistema. Se formula un plano práctico de acción más amplio que un simple análisis de aspectos medioambientales. Esencialmente, se hace un atajo en el de Ciclo de Vida completo de un determinado producto, puesto que con el análisis de sólo 20% de elementos, podría conocerse un 80% de impactos totales en el sistema. Es conocido como el precursor del Análisis del Ciclo de Vida simplificado.

Análisis de línea de producto: Muy similar al Análisis del Ciclo de Vida, utiliza como base de comparación la unidad funcional del sistema. Presenta un espectro más amplio de análisis, ya que incorpora como foco de investigación, además del análisis medioambiental, otros aspectos de tipo económico y social. Es considerada una herramienta conceptualmente correcta, aunque en la práctica se utiliza poco.

Análisis del Ciclo de Vida: El ACV es una herramienta de Gestión Ambiental que identifica tanto a los recursos usados como a los residuos que se generan y se emiten a los vectores ambientales (aire, agua y suelo) a lo largo de todo el Ciclo de Vida de un bien o un servicio específico. Permitiendo tener una visión general del proceso y eliminando la suboptimización en caso de solo enfocarnos en procesos o unidades específicas (Carvalho Filho, 2001). Diseñada para describir en qué manera los sistemas tecnológicos afectan al medio esta herramienta vale de soporte para tomar decisiones que mejoren los sistemas en cuanto a diseño, desarrollo de

productos, compras y políticas de instrumentación, además de técnica exploratoria y de conocimiento acerca del estado de los sistemas de producción, los indicadores de desempeño ambiental, entre otros.

Por supuesto, diferentes tipos de decisiones requieren diferentes herramientas de decisión. Por ejemplo, seleccionar un lugar idóneo para construir una determinada planta industrial es una decisión que se basa en los estudios de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), mientras que para el diseño de ecoproductos se utiliza el ACV. Así pues, para ejecutar el primero, el objeto de estudio es un proyecto; para el ACV, se trata de un producto o servicio y para la auditoría ambiental (AA), generalmente es una empresa o planta industrial. A la hora de decidir por la selección de la herramienta más adecuada para valorar los aspectos medioambientales es necesario un análisis detallado que tenga en cuenta todos los puntos fuertes y débiles, como por ejemplo la potencialidad necesaria para alcanzar los objetivos pretendidos y así escoger la que mejor se adecue a las necesidades del usuario o promotor del estudio (SETAC, 1999).

A pesar de que en algunos casos no sea posible realizar el análisis del Ciclo de Vida completo de un producto, asimismo el ACV aún resulta útil como herramienta para la Gestión Medioambiental de sistemas de producción, pues posibilita identificar el foco del problema, optimizar el uso de los recursos materiales o energéticos y gestionar los residuos producidos.

El ACV se presta para comparar dos o más productos alternativos que cumplan una misma función, y también para valorar materiales alternativos contribuyendo así al desarrollo de materiales más respetuosos con el Medio Ambiente. A continuación se profundiza sobre el ACV como método fiable a la hora de evaluar los impactos ambientales.

1.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta medioambiental.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), en teoría, es un método analítico (Chacón Vargas, 2008) que contempla y hace una interpretación de los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su Ciclo de Vida.

El ACV es “la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto a través de su Ciclo de Vida” (NC ISO 14040:1999). El análisis de Ciclo de Vida es una herramienta esencial en la evaluación del impacto ambiental de las nuevas tecnologías energéticas, principalmente a la hora de establecer la reducción neta de las emisiones de gases de efecto invernadero (Serrano & Dufour, 2008).

El ACV (LCA en nomenclatura inglesa), toma como punto de partida estos impactos o aspectos (variables cuantificables) y mediante un conjunto de funciones y relaciones matemáticas con base científico-técnica obtiene valores para los efectos producidos. En un ACV completo se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados de los consumos, las

emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o no se puede utilizar. El (ACV), de acuerdo a la Norma NC-ISO 14040, es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto: compilando un inventario de las entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproducto, emisiones al aire, agua y suelo) relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

La definición de ACV provista por la *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1999), organización que ha tomado el liderazgo del desarrollo científico de la metodología del ACV tanto en Europa como en Estados Unidos es la siguiente: “Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el Ciclo de Vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final”. El Análisis de Ciclo de Vida se considera un método fiable para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el Medio Ambiente. Sus resultados entre otras funciones sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos (Carvalho Filho, 2001). El ACV ha evolucionado y se ha enriquecido progresivamente, debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental de las distintas producciones que tienen lugar en la actualidad. Los objetivos globales que persigue según (Nydia Suppen & Van Hoof, 2005) son: Suministrar un cuadro lo más completo posible de las interrelaciones de los procesos, productos y actividades con el Medio Ambiente. Identificar mejoras ambientales. Obtener información ambiental de calidad, que facilite el dialogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad preocupados por los temas de calidad ambiental.

El ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental, un balance material y energético del sistema estudiado, en que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su Ciclo de Vida. Es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad. De esta manera se identifican las entradas y salidas del sistema, y posteriormente se evaluarán los diferentes impactos ambientales que pueden causar, o sea, brindará la oportunidad de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio. Las categorías generales de impactos

medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas según explica la “*International Standards Organisation*” (ISO).

El principio básico de la herramienta ACV es la identificación y descripción de todas las etapas del Ciclo de Vida de los productos, desde la extracción y pretratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible re-utilización, reciclaje o deshecho del producto. A continuación la figura 1.3 representa una visión general del Ciclo de Vida de un producto.

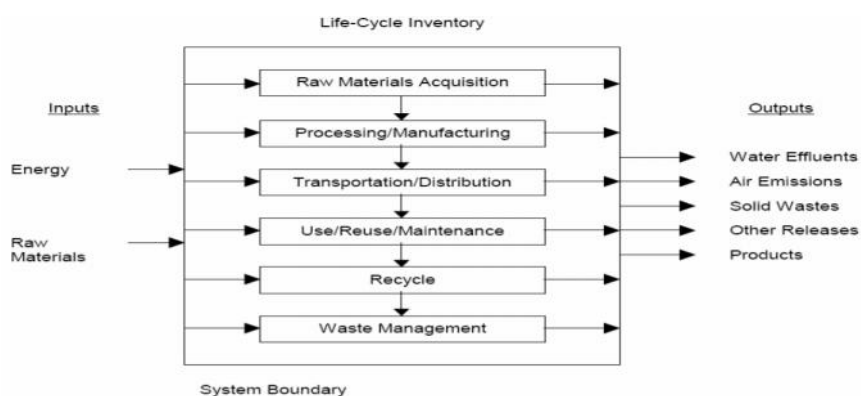


Figura 1.3 .Visión general del Ciclo de Vida de un producto. **Fuente:** (García Daniel, 2007).

1.2.1 Evolución de la metodología ACV.

El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa. Si bien el primer ACV fue realizado en 1969 por el *Midwest Research Institute* (MRI) para la Coca-Cola, donde la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de emisiones al ambiente. Los estudios continuaron durante los años setenta, y grupos como *Franklin Associates Ltd.* Junto con la MRI realizaron más de sesenta análisis usando métodos de balance de entradas/salidas e incorporando cálculos de energía. Entre 1970 y 1974, la *Environmental Protection Agency* (EPA) realizó nueve estudios de envases para bebidas. Los resultados sugirieron no utilizar el ACV en cualquier estudio, especialmente para empresas pequeñas, ya que involucra costos altos, consume mucho tiempo e involucra micro-manejo en empresas privadas (Gobierno de Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente. Proyecto minimización de Residuos provenientes de Embalaje, 2001). En Europa, estudios similares se realizaron en la década de los sesenta. En Gran Bretaña, Lan Boustead realizó un análisis de la energía consumida en la fabricación de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) de bebidas. Pero fue a partir de los años ochenta cuando la aplicación del ACV se incrementó. En esta misma década fue cuando se desarrollaron dos cambios importantes: primero, los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales tal como el calentamiento global y agotamiento de los recursos; y

segundo, los estudios de ACV comenzaron a estar disponibles para uso público (Romero Rodríguez, 2003).

La *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) es la principal organización que ha desarrollado y liderado las discusiones científicas acerca del ACV. En 1993, formuló el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (*Code of Practice for Life Cycle Assessment*), con el fin de homogeneizar los diversos estudios realizados para que siguieran una misma metodología. Esto impulsó el inicio de desarrollos masivos de ACV en diversas áreas de interés mundial, pues se realizaron conferencias, talleres y políticas sobre ACV. Posteriormente, la ISO apoyó este desarrollo para establecer una estructura de trabajo, uniformizar métodos, procedimientos, y terminologías, debido a que cada vez se agregaban nuevas etapas, se creaban metodologías, índices, programas computacionales dedicados a realizar ACV en plantas industriales, etc. Después de treinta años el ACV ha tenido un avance impresionante, sin embargo, se reconoce que la técnica está en una etapa temprana de su desarrollo. Muchos ACV realizados han sido parciales (sólo se ha practicado la fase de inventario) y aplicados mayoritariamente al sector de envases (aproximadamente un 50%), seguidos de los de la industria química y del plástico, los materiales de construcción y sistemas energéticos, y otros menores como los de pañales, residuos, etc (Sáenz de Buruaga, Jaime Mayté, & Zúfia, 1996). Sólo en los últimos años se ha podido introducir la fase de evaluación de impacto en los estudios realizados.

No ha sido fácil hallar referentes para rastrear las actividades que dieron inicio al ACV en algunos países de Latinoamérica y los trabajos que actualmente desarrollan en esa materia; sin embargo, varios autores e instituciones ofrecen algunos elementos de juicio para contar, quizás de manera fragmentada, lo qué pasó y está pasando en la arena del ACV, principalmente en países como México, Chile, Colombia, Argentina y Brasil, pioneros en la región en aplicar esta herramienta (Nydia Suppen & Van Hoof, 2005).

Finalmente, hay que destacar también la creación de la Red Latinoamericana de Ciclo de Vida, la cual nació en el año 2003 y que produjo en el 2004 la publicación titulada *El Análisis de Ciclo de Vida ISO 14040 en Latinoamérica*.

1.2.2 El desarrollo de un ACV y sus etapas.

La definición de la ISO en su serie ISO 14040 - Análisis de Ciclo de Vida, determina que: “El ACV es una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de:

- La compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto.

- La evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas.
 - La interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio que se le aplica actualmente en el ACV consta de cuatro componentes, que se observan en la Figura 1.4.
1. Marco metodológico, que incluye la definición de objetivo y alcances, función, unidad funcional y fronteras del sistema.
 2. Inventario del Ciclo de Vida (ICV). En esta parte se desarrolla un diagrama de flujo (árbol de procesos), además se identifican y cuantifican las entradas y salidas de cada etapa del Ciclo de Vida.
 3. Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV). Consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las salidas y el Medio Ambiente a partir de la interpretación de la información generada en el análisis del ICV, clasificando los efectos al Medio Ambiente en diferentes categorías de impacto ambiental y modelando indicadores para cada categoría.
 4. Interpretación / Evaluación de mejoras. Se busca, a partir de las consecuencias ocasionadas por las entradas y salidas, establecer prioridades para la búsqueda de mejoras en el sistema.

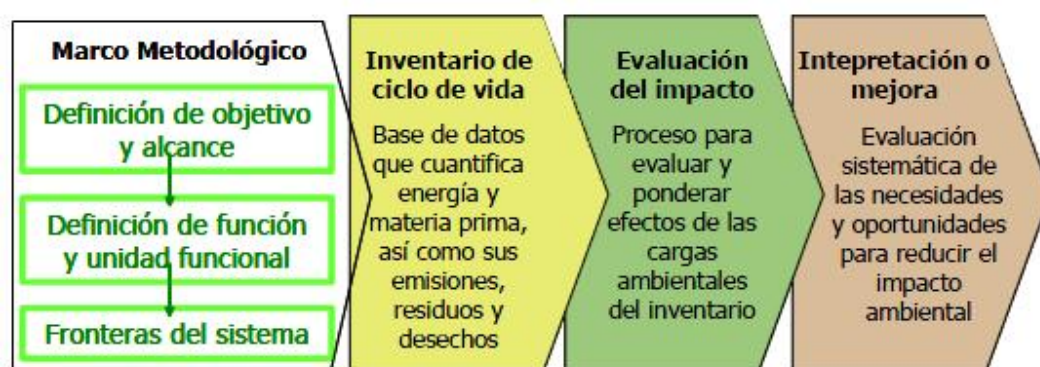


Figura 1.4. Etapas del análisis de Ciclo de Vida. **Fuente:** (Suppen, 2007).

En la estructura metodológica del ACV existen dos partes fundamentales: el inventario de Ciclo de Vida en donde se calculan todos los impactos durante el Ciclo de Vida y la evaluación de impacto de Ciclo de Vida (el modelo de asignación), en donde se relacionan los impactos con los problemas ambientales con el fin de obtener un eco-indicador. Con esta metodología de asignación se relaciona primero el impacto con un factor de contribución al problema ambiental definido en la metodología y en la segunda parte del modelo de asignación se prioriza entre los problemas ambientales (Suppen, 2007).

1.2.3 Normativas que rigen el ACV.

La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV dicho protocolo se haya establecido en la normativa elaborada por la ISO en 1993. En 1994, se estableció dentro de ISO el comité técnico (TC) 207 relacionado con la normalización de herramientas ambientales, incluido el ACV. Dentro de la normalización ISO deberán distinguirse entre normativas e informes técnicos.

Actualmente se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

NC-ISO 14040 (1997): especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalle (ISO-14040 1997).

NC-ISO 14041 (2001): en esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del Ciclo de Vida, ICV (LCI) (ISO-14041, 1998).

NC-ISO 14042 (2001): en ella se describe y se establece una guía de la estructura general de la fase de Análisis del Impacto, AICV (LCIA). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV (NC-ISO-14042, 2000a).

NC-ISO 14043 (2000): esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (NC-ISO-14043, 2000b).

Además de documentos técnicos para ayudar a la elaboración de estudios de ACV como son:

ISO TR 14047 (2002): proporciona un ejemplo de cómo aplicar la norma ISO 14042 (ISO-14047: 2002).

ISO/CD TR 14048 (2002): este documento proporciona información en relación con los datos utilizados en un estudio de ACV (ISO-14048, 2002).

ISO/TR 14049 (1998): este informe técnico proporciona ejemplos para realizar un ICV de acuerdo con ISO 14041.

Estos ejemplos deberán entenderse como no exclusivos y que reflejan parcialmente un ICV (ISO-14049:1998).

1.2.4 Ventajas y desventajas del método ACV.

Las organizaciones consideran benéfico conocer, con el mayor detalle posible, los efectos (aunque sean involuntarios) que sus productos, servicios o actividades podrían causar en el Medio Ambiente; en especial, los que provoquen impactos ambientales significativos adversos, para atender a las responsabilidades legales, sociales y políticas que ellos implican, además de las pérdidas económicas y de imagen empresarial. El ACV, realizado de acuerdo con los procedimientos estipulados en la serie de normas ISO14040, es una herramienta de Gestión Ambiental que brinda una base sólida para que la dirección de una organización pueda tomar decisiones técnicas adecuadas con base en las cuestiones que podrían plantearse sobre el

lanzamiento de un nuevo producto o la modificación de productos existentes, para hacerlos más eficientes en cuanto a su desempeño ambiental y que sigan realizando igualmente la función para la que fueron programados (Romero Rodríguez, 2003).

El ACV no es la única herramienta para analizar la performance ambiental, pero su valor real es la articulación entre el criterio ambiental a través de todo el Ciclo de Vida y las estrategias de la empresa y su planificación para alcanzar beneficios comerciales. Esta metodología, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares o para comparar dos o más productos alternativos, favoreciendo el desarrollo de materiales más respetuosos con el Medio Ambiente.

El ACV puede proveer a una empresa valiosa información interna en el caso de evaluar un sistema productivo sobre la eficiencia del uso de los recursos y manejo de desperdicios, etc.; aunque no es apropiado por ejemplo, si quieren analizar las implicaciones sobre el cliente acerca de efectos tóxicos sobre la salud. El ACV ayuda a la organización a ganar ventajas competitivas y comparativas a través del ahorro de costos y mejora de posiciones en el mercado, incremento de ganancias y reforma de la imagen (de la empresa o de un producto determinado) (Iglesias, 2005). Y provee todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Ecoetiquetado). La misma *World Trade Organization*, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV. Entre sus puntos fuertes se puede mencionar primeramente, su carácter globalizador, que evita el traslado del problema; por ejemplo, evita que la solución a un problema ambiental particular ocasione el deterioro de una parte del Ciclo de Vida, o a otro vector ambiental; y en segundo lugar muestra una relación de todos los recursos usados, así como de los residuos y emisiones generados por la unidad funcional del sistema, permitiendo así un marco de referencia común para sistematizar la nomenclatura y metodología utilizada, y poder comparar estudios medioambientales con orígenes diferentes.

Se considera que resulta útil como herramienta para la Gestión Medioambiental de sistemas de producción, pues posibilita identificar el foco del problema, optimizar el uso de los recursos materiales o energéticos y gestionar los residuos producidos. Además considera los impactos globales y regionales y posibilita estimar los impactos que en términos influyen la salud de la sociedad (Wrisberg et al., 1997).

En resumen, la principal función del ACV es la de brindar soporte para tomar las decisiones que se relacionan con productos o servicios; y más específicamente, la de conocer las posibles

consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio (Romero Rodríguez, 2003).

El Análisis de Ciclo de Vida del producto es, sin duda, la herramienta de gestión ambiental que se está perfilando como la más sistemática, global y objetiva para afrontar los retos futuros. No se descarta el hecho de que, a corto plazo, el ACV será la base para evaluar aquellos productos que sean capaces de ingresar al comercio internacional, pues los países desarrollados no estarán dispuestos a financiar contaminación cuando ellos mismos están haciendo fuertes inversiones en este aspecto. Aunque puede no ser siempre la técnica más apropiada para usar en todas las situaciones, pues es importante entender sus limitaciones. Estas limitaciones incluyen: subjetividad en la naturaleza de elecciones e hipótesis, la precisión puede estar limitada por la accesibilidad o disponibilidad de datos importantes, o por la calidad de los mismos. No es capaz de apuntar el carácter temporal o espacial de un determinado efecto, a causa de las carencias de detalles temporal y espacial en la base de datos, los impactos reales no pueden ser evaluados usando el ACV, ya que este mide únicamente impactos potenciales.

1.2.5 Aplicaciones del ACV.

Existen diferentes usos y aplicaciones del ACV, como primer enfoque se pueden clasificar sus usos como generales y particulares (Sonnemann, Castells, & Schuhmacher, 2003). Las aplicaciones generales incluyen:

- Comparación de diferentes alternativas
- Identificar puntos de mejora ambiental
- Tener una perspectiva global de problemas ambientales y evitar generar nuevos problemas
- Contribuir al entendimiento de las consecuencias ambientales de las actividades humanas.
- Conocer las interacciones entre un producto o actividad y el Medio Ambiente lo más pronto posible
- Dar información que apoye a los tomadores de decisiones a identificar oportunidades para mejoras ambientales.

Las aplicaciones particulares incluyen:

- Definir el desempeño ambiental de un producto en su Ciclo de Vida
- Identificar los pasos más relevantes en un proceso de manufactura relacionados a un impacto ambiental
- Comparar el desempeño ambiental de un producto con otros que den un servicio similar.

Dentro de este marco general de aplicaciones, tomando en cuenta el ciclo de mejora en la planeación de actividades empresariales, las aplicaciones del ACV permiten tener

direcciones concretas y prioridades de cómo implementar acciones y alternativas de mejoramiento.



Figura 1.5. El ciclo de mejora empresarial y las aplicaciones de planeación en la metodología de ACV. **Fuente:** (Suppen, 2007).

El ACV permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV:

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los productores pueden fabricar productos de menor impacto ambiental.

El ACV es un método que comprende un conjunto de factores, incluyendo los flujos de contaminantes a través de *todos* los tipos de medios, de *todos* los procesos en las etapas del Ciclo de Vida de un sistema producto, y las consecuencias de estos flujos en *todas* las categorías de impacto ambiental relevantes. La ventaja del ACV es que al usarle, los tomadores de decisiones pueden evitar generar nuevos problemas ambientales al corregir otros, o crear problemas ambientales en otras etapas del Ciclo de Vida (Norris, N. Suppen, do Nascimento, & Ugaya, 2004). Por ejemplo decisiones acerca de cómo desarrollar, implementar y producir; cómo desarrollar políticas gubernamentales que afectan a productores y consumidores; y cómo las Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) pueden producir lineamientos de sensibilización ambiental.

La Tabla 1.2 muestra algunas de las principales aplicaciones del ACV en este contexto.

Usuario	Uso interno	Uso externo
Compañías	- Conocer el Ciclo de Vida de sus productos - Posicionar sus productos en el mercado - Determinar prioridades para la planeación (por ejemplo en ISO 14001) - Diseño de productos - Concientizar a los empleados - Establecer estrategia empresarial	- Mercadeo (comparaciones) - Relaciones con autoridades - Relaciones con accionistas
Autoridades públicas	- Apoyo para determinar políticas ambientales - Apoyo en I&D	Programas de ecosellos
ONGs	Apoyo para determinar políticas ambientales	- Presión/información a la industria - Presión/información a las autoridades - Presión/información a consumidores

Tabla 1.2: Aplicaciones del ACV. **Fuente:** (Suppen, 2007)

Estudios más recientes sobre cómo se usa el ACV demuestran (Frankl & Rubik, 2000) que las razones más comunes para la aplicación de ACV son usos internos tales como la mejora de productos, apoyo para selección estrategias y el *benchmarking*. La comunicación externa también es mencionada como aplicación pero a menudo esa comunicación es indirecta, se presentan sólo resultados clave del informe de ACV. Otro estudio sobre el estado actual y perspectivas de futuro de ACV en España, (Fullana, Adria, & Domenech, 2000) estableció que las aplicaciones del ACV deberían incluir la gestión de residuos, el diseño de productos y la gestión ambiental, principalmente

La cuestión más importante en la implementación de ACV resulta ser la falta de una definición clara con respecto al objetivo y la aplicación del estudio. En muchas compañías, el departamento de mercadotecnia es el iniciador puesto que le gustaría demostrar los beneficios ambientales de productos. Sin embargo, usualmente el departamento de mercadotecnia descubre que es difícil comunicar los resultados de ACV. A menudo, otros departamentos, como el de investigación y desarrollo, asumen el papel del iniciador lo que puede crear alguna confusión con respecto al propósito exacto del proyecto ACV.

El procedimiento que más se encuentra en la fase inicial de la implementación del ACV es el inicio de un proyecto ad hoc. El objetivo más importante es aprender qué es ACV, qué es lo que uno puede aprender del mismo y que tan confiables aparentan ser los resultados.

Esta actitud con respecto al aprendizaje es muy importante. Muchas veces, el aprender es más importante que el resultado del primer ACV. Según el estudio de Frankl, se presenta una situación interesante si el primer ACV da resultados extraños o inesperados. En algunas organizaciones, el resultado es visto como una razón para descalificar la utilidad de ACV como

herramienta. Otras organizaciones usan el resultado inesperado como una experiencia positiva de aprendizaje.

En los últimos años el ACV se ha impuesto como herramienta a la hora de evaluar los impactos de los productos (Menke, Davis, & Vigon, 1996). Esto ha provocado el aumento del desarrollo de herramientas informáticas y de bases de datos para utilizarlo, a continuación algunas de las más utilizadas.

1.3 Herramientas informáticas utilizadas en el ACV.

Existe una amplia variedad de herramientas informáticas que se utilizan en el ACV en el ámbito del Diseño para el Medio Ambiente (DFE), disponibles en el mercado actualmente.

En función de las expectativas del usuario (usuarios) es posible establecer los criterios básicos para realizar una elección de aquellas herramientas que pudieran ser más interesantes de acuerdo a los objetivos específicos que se quieren (Rodríguez Pérez, 2007). Algunas de estas herramientas son:

1.3.1 GaBi4.4

Existen distintos módulos para el nivel básico que contienen conjuntos de datos de las fuentes de bases externas accesibles públicamente (ecoinventarios BUWAL para envasado, base de datos de plásticos de la APME). Incluye datos sobre evaluación de impacto configurables en función del origen de los datos de un proceso (calculado, estimado, medido y referenciado en bibliografía). Permite crear tanto procesos (modelización del Ciclo de Vida de un producto) simples como procesos parametrizados que permiten simular entradas y salidas más complejas. También permite asociar costes a los flujos ((Rodríguez Pérez, 2007). En GaBi 4.4 se han incluido la base de datos del Ciclo de Vida europeo (ELCD, *European Life Cycle Database*) permitiendo el acceso para todos los datos de ELCD disponibles. Se implementan también los requisitos de documentación sobre el nivel de proceso. GaBi 4.4 permite integrar los aspectos sociales en los estudios de ACV e incluye también nuevos datasets de Worldsteel, Eurofer y la Asociación de aluminio europea. En total, hay más de 350 nuevos datasets (Gabi Software, 2012).

1.3.2 Simapro 7.0

Las últimas versiones de este programa se han actualizado con las nuevas bases de datos (BUWAL 250), e incluyen además nuevos ecoindicadores (Eco-indicator 99) Se puede realizar un ACV completo con múltiples métodos para la evaluación de impactos. La base de datos de SIMAPRO es una de las que más variedad presenta. Los datos están completamente referenciados con su fuente, incluso con descripciones cualitativas. El método para calcular el

ICV (Inventario del Ciclo de Vida) permite calcular los impactos según la metodología propuesta por la SETAC (caracterización, normalización y valoración) (Gabi Software, 2012).

También es importante subrayar que la simplicidad de uso presentada por algunos programas es una ventaja considerable para el usuario, mientras que exija un conocimiento conveniente de la metodología del ACV's, porque de lo contrario puede llevarle a resultados y conclusiones erróneas por falta de capacidad crítica sobre el tema (Josa, Cardim, Agudo, & Gettu, 1999).

1.3.3 Team.

Se trata de una de las herramientas más potentes y flexibles, aunque por este motivo su dominio y utilización resulta más complicada que la de otros programas. Además no dispone de una guía de aprendizaje, paso a paso, como poseen algunos de sus competidores. Destaca la incorporación de la posibilidad de introducir información relativa a costes (LCC, Life Cycle Cost) aunque sin un formato por defecto que sirva de guía. Utiliza el formato estándar de intercambio de datos SPOLD (Team software, 2012).

1.3.4 Open LCA.

Este software de Análisis de Ciclo de Vida, desarrollado por Green DeltaTC, es disponible como fuente abierta y diseñado como una estructura muy modular y flexible, permitiendo que diferentes tarjetas madre y módulos sean incluido. Algunos de los módulos se ejecutan como aplicaciones autónomas.

El marco de Open LCA es desarrollado en Eclipse, que es de código abierto en sí. Eclipse provee un eficiente modelo de Arquitectura Orientada a los Servicios (SOA), de hecho, es la aplicación de referencia de SOA que frecuentemente es implementada en software de empresas muy importantes. La consecuencia práctica de SOA hace al software altamente modular, fácil adaptar a necesidades específicas, incluso en tiempo de ejecución, con módulos que se ejecutan, opcionalmente, como aplicaciones de softwares independientes. Esto permite implementar una variedad amplia de diferentes métodos y accesorios, dando ricas funciones marco y al mismo tiempo mantener la pequeña aplicación. Se suministra una intuitiva y rápida interfaz de usuario para aplicaciones, venciendo una desventaja vieja de programas de Java. Adicionalmente, se integran otros de código abierto y paquetes de software, por ejemplo, para visualizar el inventario red de procesos. El convertidor de formato es parte del marco; convierte versiones actuales de bases de datos de LCI de EcoSpold (ecoinvent), SimaPro EcoSpold, ISO TS14048 / IMI (Chalmers), y ELCD (Joint Research Centre of the European Commission) de un formato a otro, y es capaz de producir conjuntos de datos que son válidos en el esquema de "su" formato. El convertidor se ejecuta como una aplicación independiente y puede convertir múltiples conjuntos de datos en modo batch.

El carácter de fuente abierta del software permite modificar y adaptar el software a las necesidades específicas. El software es libre de utilizar las aplicaciones de la licencia de apertura, donde las tasas son críticas. Los usuarios pueden, muy racionalmente, seleccionar el formato que mejor almacena los datos que necesiten para un propósito especial. Proveyendo el convertidor, se mejora la disponibilidad de datos, más fácil el intercambio de datos, y el modelo de LCA se beneficia de una mejor calidad de datos (Ciroth, 2007).

Algunos criterios útiles y que se pueden contrastar para el análisis de las herramientas informáticas anteriormente analizadas son: los requerimientos del software, la introducción del modelo, los datos (protección de los datos), la flexibilidad (utilización de distintas unidades, uso de fórmulas), cálculos y comparaciones (análisis de incertidumbre, evaluación de los impactos y la comparación de los resultados) y la salida (presentación de los distintos resultados) (Rodríguez Pérez, 2007).

Para realizar el ACV se pueden emplear conjuntamente con el software diferentes metodologías descritas a continuación.

1.4 Metodologías del Análisis del Ciclo de Vida.

Existen diferentes metodologías que permiten el análisis del Ciclo de Vida, entre las que se encuentran:

1.4.1 Impact 2002.

La metodología para análisis de impacto del Ciclo de Vida (LCA, siglas en inglés) propone una implementación factible de la combinación de los puntos medios/aproximación de daños, uniendo todos los tipos de resultados de los recuentos (flujos elementales y otras intervenciones) a través de 14 categorías de puntos medios, hasta 4 categorías de daños (Jolliet, 2003).

La transferencia de contaminantes dentro del alimento humano no está basada ya más en la exploración de las fuentes de consumo pero cuenta para la agricultura y los niveles de producción de ganado. Las emisiones de gases internas y al aire libre pueden ser comparadas y la calidad intermitente de las precipitaciones es considerada. Tanto la toxicidad humana y los factores del efecto de la ecotoxicidad se basan preferiblemente en dar respuestas a conjeturas conservativas. Otras categorías de puntos medios son adaptadas por la caracterización de métodos existentes (Eco-Indicador 99 y CML 2002). Todos los resultados de los puntos medios son expresados en unidades substanciales de referencia y relacionadas a 4 categorías de daños a la salud humana, calidad del ecosistema, cambios climáticos y recursos. La normalización puede ser desarrollada por ambas categorías los puntos medios o los niveles de

daños. El método Impact 2002+ posee factores de caracterización para más de 1500 resultados de impactos de Ciclo de Vida diferentes.

1.4.2 Eco-Indicador 99.

El Eco-indicador de un material o proceso consiste en un número que indica el impacto ambiental de dicho material o proceso, a partir de los datos obtenidos del ACV. Cuando mayor es el indicador, mayor es el impacto ambiental. El Eco-indicador 99 es un método ACV especialmente destinado al diseño de productos, y ha demostrado ser una poderosa herramienta para los diseñadores a la hora de interpretar los resultados de los ACV mediante sencillos números o unidades, los llamados Eco-Indicadores. Este se desarrolla con una metodología específica para ello (Goedkoop & Spriensma, 2001).

1.4.3 ReCiPe 2008.

ReCiPe 2008 es un método para el Análisis del Impacto en el Ciclo de Vida que provee una receta para calcular indicadores de categoría de impacto del Ciclo de Vida. Las siglas representan las iniciales de los institutos contribuidores principales para el proyecto y colaboradores muy importantes en su diseño: RIVM y la Universidad de Radboud, CML, y consultores de PRé.

Este método se construye sobre la base de Eco-indicator 99 y CML Handbook on LCA. Cuenta con 18 categorías de impacto como son el cambio climático, la reducción de la capa de Ozono, la reducción de agua, de recursos minerales, de combustible fósil etc. y tres categorías de daño: el daño a la salud humana, daño a la diversidad del ecosistema, y daño para la disponibilidad de recurso (Goedkoop et al., 2009).

1.4.4 Eco-Speed.

Este método presentado por MSc. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida incluye características específicas de esta región americana. En este nuevo método las categorías de Toxicidad se calculan para las regiones específicas de América Central, el Caribe y Sur América. (Rodríguez Pérez, 2011).

En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado.

Eco-speed pretende ser una metodología apropiada para el Análisis del Ciclo de Vida ambiental de un producto, surge de la necesidad de los países de la región latinoamericana de

un método aplicable en esta región y que evite las incertidumbres producidas al aplicar metodologías de países europeos o desarrollados por lo que se decide para utilizarlo en la presente investigación, en la cual se estudia la energía eléctrica y su relación con el Medio Ambiente.

1.5 La energía eléctrica.

El consumo de energía está muy ligado al de la electricidad, aunque esta no es una fuente de energía, sino únicamente una forma de utilizarla. Su empleo en gran escala es una de las características más importantes de la llamada II Revolución Industrial en el año 1873, en que se invento la dinamo, y en 1883 en que se logro resolver el problema del transporte de la energía eléctrica, la producción y el consumo de este tipo de energía ha ido en constante aumento. (Nucleoeléctrica Argentina S.A., 2006).

La producción de electricidad se ha convertido en requisito indispensable del proceso de industrialización, y esto se debe a que la energía eléctrica posee una serie de características que resultan de gran utilidad:

- Es muy regular: Su tensión es siempre la misma y se dispone de ella en cualquier momento que desee.
- Es una Energía limpia: Una vez obtenida apenas produce contaminación ambiental.
- Es fácil de transportar: Se puede hacer llegar en un tiempo mínimo a cualquier punto sin pérdidas apreciables, siempre que el transporte se realice a alta tensión.
- Es fácil de transformar en otros tipos de energía: (mecánica, calorífica, química, entre otras.) Los motores eléctricos accionan los medios de transporte y los distintos sistemas de alumbrado eléctrico.

La utilización de la electricidad, además de transformar algunos sectores, como los del transporte y comunicaciones, resulta indispensable en la moderna tecnología de las industrias química y metalúrgica, por ejemplo, y el consumo de energía eléctrica aumenta de forma considerable a medida que se eleva el nivel de vida medio de la población.

Además de por hilos o cables, se puede transportar mediante ondas electromagnéticas. Aunque la energía transmitida sea débil. Así se transmiten la palabra, la imagen y las señales de mando para accionamiento de mecanismos.

La obtención de energía en instalaciones especiales recibe el nombre de centrales eléctricas, y pueden ser de distintos tipos como se muestra en la siguiente tabla 1.3:

Tipo de Central	Energía Primaria que Transforma
Térmica	Energía procedente de la combustión de carbón, fuel o gas natural.

Nuclear	Energía procedente de reacciones de fisión nuclear.
Hidroeléctrica	Energía potencial del agua.
Solar (Fotovoltaica o térmica)	Energía del sol
Eólica	Energía del viento
Geomotriz	Calor de la tierra
Mareomotriz	Energía de las mareas.

Tabla 1.3: Tipo de central con la energía primaria que transforma **Fuente:** (elaboración propia).

Estas centrales constan, por lo general, de grandes turbinas movidas por agua, las cuales hacen, a su vez girar a un alternador, en el que se origina la corriente eléctrica.

La energía eléctrica obtenida en estas centrales se transporta mediante conductores de cobre o de aluminio llamadas líneas de subtransmisión o de distribución a tensiones muy elevadas a distancias moderadas con ayuda de la subestación de salida de las centrales y en el otro extremo de la línea se ubican las subestaciones de distribución que bajan el voltaje para alimentar los circuitos primarios que tienen interconectados bancos de transformadores que alimentan por baja los circuitos secundarios y estos a las zonas residenciales. De esta manera se consigue minimizar las pérdidas de energía en forma de calor por disminuir las distancias en el transporte de la fuente generadora al consumidor.

La energía eléctrica es una “energía limpia” pero solo en lo que respecta a su utilización. En cambio su producción y transporte pueden acarrear importantes consecuencias negativas sobre el entorno medioambiental, a continuación el impacto al Medio Ambiente que producen algunas centrales y la transportación de la energía eléctrica.

1.5.1 La energía eléctrica y su impacto medio ambiental.

Centrales Térmicas: Utilizan como combustible carbón, fuel o gas, cuya combustión afecta de diversas maneras al Medio Ambiente.

Productos y residuos volátiles que se difunden en la atmósfera: principalmente dióxido de carbono, vapor de agua, óxido de azufre y de nitrógeno, son la causa de una serie efectos perjudiciales, entre los que se pueden citar los siguientes:

- Efecto invernadero. Aunque parte del dióxido de carbono producido en las centrales térmicas lo utilizan las plantas en el proceso de fotosíntesis y la otra parte se disuelve en el agua de los mares y océanos, el dióxido de carbono restante se acumula en la atmósfera aumentando su producción progresivamente en el transcurso de los años. El dióxido de carbono permite el paso de la radiación infrarroja que remite la tierra hacia el espacio. De esta forma, se conserva más eficazmente el calor del sol, lo que se puede traducir en

alteraciones climáticas importantes. Por ejemplo si la temperatura aumentara suficientemente podrían llegar a fundirse los polos.

- Lluvia ácida. Los óxidos de nitrógeno y de azufre, procedentes de las impurezas que acompañan al carbón y al petróleo y que se desprenden en las centrales térmicas, que constituyen la llamada lluvia ácida, de efectos sumamente perniciosos para la vegetación.
- Contaminación del agua de los ríos y lagos, lo que afecta tanto la vida acuática como a la potabilidad del agua de consumo.
- Destrucción del manto fértil del suelo y de gran parte de los bosques. Este es un grave problema que afecta sobremanera a las naciones más industrializadas.

Centrales Nucleares: Entre los efectos medioambientales más acentuados pueden citarse los siguientes:

- Fugar radiactivas y accidentes: Los primeros accidentes en centrales nucleares tuvieron lugar en los átomos en 1945 y 1946. Posteriormente, los ocurridos en marzo de 1979 en Harrisburg (Pensilvania) y en abril de 1986 en Chernobil. La existencia de estos riesgos conlleva la necesidad de establecer rigurosos sistemas de seguridad que contrarresten las consecuencias de posibles fallos. Por eso, aunque el riesgo existe, no debemos ser excesivamente alarmistas, pues el nivel de radiación originado por una central nuclear en correcto estado de funcionamiento es muy inferior al que producen otras fuentes naturales.
- Calor residual: El calor liberado en las centrales nucleares se elimina por refrigeración. Sin embargo este efecto no es de gran consideración y se limita a una zona muy reducida. Los residuos gaseosos procedentes de las centrales nucleares, una vez tratados para eliminar parte de su radioactividad y las partículas sólidas que los acompañan, se envían directamente a la atmósfera.

Los residuos sólidos de baja y media radiactividad se mezclan con hormigón y se introducen en bidones, que se almacenan primero en la propia central y luego se desplazan hasta su emplazamiento definitivo.

Los residuos de alta radiactividad se almacenan en primer lugar en piscinas de hormigón llenas de agua ubicadas en la propia central luego son conducidas hasta fabricas de reprocesamiento en las que se recupera el material combustible no consumido, el resto a unas zonas determinadas geológicamente estables y carentes de corrientes subterráneas de agua, donde se entierran dentro de recipientes resistentes a la corrosión.

Centrales Hidroeléctricas: Entre los problemas medioambientales que ocasionan se pueden mencionar los siguientes:

- Los embalses de agua anegan extensas zonas de Terreno, en algunos casos, han inundado pequeños núcleos de población, cuyos habitantes han tenido que ser trasladados a otras zonas.
- Al interrumpirse el curso natural de un río, se producen alteraciones en la flora y en la fauna fluvial.
- Las presas retienen las arenas que arrastra la corriente y que son la causa, a lo largo del tiempo forman deltas en las desembocaduras de los ríos.
- Si agua arriba del río no existen vertidos industriales o de alcantarillado, se pueden producir acumulaciones de materia orgánica en embalse, lo que repercutiría negativamente en la salubridad de las aguas.
- Una posible rotura de la presa de un embalse puede dar lugar a una verdadera catástrofe Sin embargo, pese a lo expuesto, el uso tanto de la energía hidráulica como de las instalaciones que la acompañan presenta una serie de ventajas.

1.5.2 Energía eléctrica y sociedad.

Los beneficios de la energía eléctrica son importantes y bien conocidos. Este beneficio se puede medir en calidad de vida, asistencia técnica, alfabetismo, población con acceso a agua potable, y expectativa de vida, entre otros.

Según estudios estos indicadores aumentan con el consumo de energía por habitante, no porque gastar sea beneficioso, si no porque el uso racional de la misma sí lo es.

Analicemos ahora los “perjuicios” de las distintas formas de generación de electricidad y cómo evaluarlos con números. De esta forma podremos compararlas según su impacto o riesgo, y evitar apreciaciones subjetivas o no realistas. Esta forma de proceder permite legislar correctamente, y establecer límites al riesgo en beneficio de todos (Nucleoeléctrica Argentina S.A., 2006).

En el caso particular de evaluar el perjuicio de la producción de energía eléctrica debemos evaluar el impacto de la misma en todas las etapas del proceso industrial como pueden ser: la construcción de la instalación, extracción del mineral o combustible a usar, transporte y manufactura del mismo, operación de la instalación, tratamiento y disposición final de residuos que se generan en cada una de estas etapas. Estos estudios de cuantificación del grado de seguridad se realizan y existe una amplia bibliografía de distintas organizaciones internacionales, independientes y reconocidas, que concuerdan en sus conclusiones (Organización Mundial de la Salud, Agencia Internacional para Investigaciones en Cáncer, entre otras.). Una manera de comparar el riesgo de distintas fuentes de generación de electricidad (que también debería hacerse para las otras industrias) es evaluar la cantidad de accidentes

que se puedan producir al generar la cantidad de energía requerida por un millón de habitantes en un año; si toda esa energía es producida por una sola de las siguientes alternativas: carbón, petróleo, gas, nuclear, hidroeléctrica, solar o eólica

La relación entre energía y Medio Ambiente es innegable. Para reducir la degradación medioambiental debemos reconocer que el cuidado del Medio Ambiente está relacionado directamente con la supervivencia de la humanidad. Por ello se deben examinar cuidadosamente las opciones energéticas para encontrar alternativas viables que en su conjunto permitan minimizar el impacto sobre el Medio Ambiente. (Nucleoeléctrica Argentina S.A., 2006).

Al tener en cuenta las ventajas y desventajas inherentes a cada tipo de energía y sin desconocer la complejidad que significa la gestión de los residuos radiactivos, las centrales nucleares tienen el derecho a que se las presente como una opción válida, económica y de bajo impacto en el Medio Ambiente para la generación de energía a gran escala.

1.5.3 Industria Eléctrica en Cuba.

En el Complejo Energía-Combustible la forma de energía más versátil es, indudablemente, la energía eléctrica, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión, de manera relativamente sencilla, a otros tipos de energía. A ello es preciso agregar la facilidad de su transportación económica a grandes distancias y en grandes bloques, todo lo que le ha dado, desde la época de su primera implementación práctica, una preferencia indiscutible y un lugar sin competencia en la vida que llamamos moderna.

En nuestro país la energía eléctrica se genera empleando mayoritariamente tecnologías que funcionan a partir de la quema de combustibles fósiles, ya sean centrales térmicas o grupos electrógenos agrupados en baterías para la generación distribuida. En mucha menor medida también se emplean para la satisfacción de la demanda eléctrica nacional, tecnologías que permiten el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Pero para que la electricidad llegue hasta los usuarios finales, es necesario «transportarla» a veces largas distancias mediante los tendidos eléctricos de las redes de transmisión y distribución del Sistema Electroenergético Nacional (García Bermúdez, 2011).

De las distintas formas de generación de energía eléctrica utilizadas en Cuba, más del 90% se realiza a partir de combustibles fósiles, ya sea fuel oil, gas oil o gas, utilizando para ello diversas tecnologías como el ciclo combinado, grupos electrógenos o plantas térmicas, como se puede apreciar en la Figura 1.6 mostrada a continuación, donde se aprecia además la pequeña

generación realizada con energías renovables y utilizando la biomasa sobre todo en centrales azucareros.

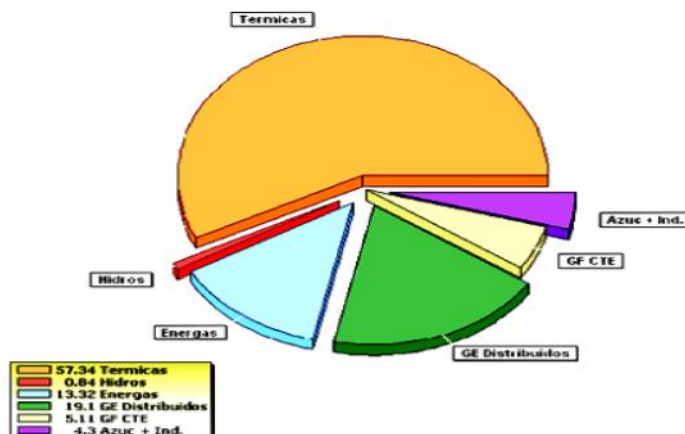


Figura 1.6: Estructura de Generación del SEN. **Fuente:** (Memoria Anual 2010, DNC).

1.5.4 La generación distribuida de energía eléctrica.

En los inicios de la Industria Eléctrica la necesidad del suministro eléctrico en una localidad era satisfecha a través de la instalación de Generadores Distribuidos.

La Industria Eléctrica inició su historia utilizando Generación Distribuida (GD), es decir, generación situada en la propia red de distribución, muy cerca de la demanda. La planeación de la generación se diseñaba para satisfacer la demanda con cierto margen de reserva (seguridad).

La Generación Distribuida (GD) representa hoy en día, un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada.

Como definición podemos entonces decir que la GD es la generación o el “almacenamiento de energía eléctrica” a pequeña escala, lo más cercana posible al centro de carga, con la opción de interactuar con la red eléctrica de la Compañía Suministradora. Con la finalidad de establecer una capacidad de acuerdo con las características de generación eléctrica, se puede decir que en lo que respecta a tecnologías disponibles, la capacidad de los sistemas de GD varía desde cientos a unos cuantos miles de kilo Watts.

Las tecnologías de generación distribuida se dividen en convencionales y no convencionales. Las Convencionales incluyen a las turbinas de gas, motores de combustión interna y microturbinas de gas. Las no convencionales se refieren a las energías renovables, como la minihidráulica, geotérmica y biomasa, las turbinas eólicas, celdas de combustibles, celdas fotovoltaicas y maremotrices.

La GD tiene como características generales que:

- Reducen pérdidas en la red, al reducir los flujos de energía por la misma.

- Su energía vertida no revierte flujos hacia la red de transporte.
- Suelen tener potencias inferiores a 3 kW aunque en general se suele decir que no sobrepasan 10 kW de potencia instalada.

La generación distribuida da otro enfoque. Reduce la cantidad de energía que se pierde en la red de transporte de energía eléctrica ya que la electricidad se genera muy cerca de donde se consume, a veces incluso en el mismo edificio. Esto hace que también se reduzcan el tamaño y número de las líneas eléctricas que deben construirse y mantenerse en óptimas condiciones.

Las fuentes de energía con un plan de tarifa regulada (FIT) tienen bajo mantenimiento, baja contaminación y alta eficiencia. En el pasado, estas características requerían de ingenieros de operación y complejas plantas para reducir la contaminación. Sin embargo, los modernos sistemas embebidos pueden proporcionar estas características con operaciones automatizadas y energía renovable no contaminante, tales como la solar, eólica y la geotérmica. Esto reduce el tamaño de las plantas, mejorándose la rentabilidad económica.

1.5.4.1 La generación distribuida de energía eléctrica en Cuba y su interacción con el medio ambiente.

Las Centrales Eléctricas son instalaciones de generación de energía eléctrica distribuida que durante su funcionamiento desprenden sustancias tóxicas tales como óxidos de nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, compuestos de azufre y plomo. Más del 80% de la totalidad de la energía producida en el mundo corresponde a motores de combustión interna (MCI). Según expertos, estos equipos interactúan sobre el Medio Ambiente de diversas formas: agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante su funcionamiento; consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico; desprenden gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna; exposición de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero y contribuyen a la elevación de la temperatura del planeta; además de emitir altos niveles de ruido, que ocasionan molestias a los núcleos poblacionales ubicados en su cercanía (Aroche López, 2010).

Es de vital importancia destacar que Cuba es el segundo país del mundo con mayor porcentaje de generación eléctrica distribuida, respecto a su capacidad total instalada, así lo informan especialistas del Centro de Información y Desarrollo de la Energía (Cubaenergía). La mayor de las Antillas garantiza, mediante grupos electrógenos 48% de su electricidad, superada solamente por Dinamarca, que alcanza 53%.

Expertos de Cubaenergía, entidad adscrita al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, se remiten a datos ofrecidos por la *World Alliance for Decentralised Energy*, organismo de reconocido prestigio en la materia.

Las restantes naciones, con mayor índice de implementación de la también denominada generación descentralizada, son Holanda y Letonia, con 38%, y la República Checa, con 36,8%. Siguen en orden descendente Alemania y Finlandia, ambas con 36%; Rusia (31,3%) Polonia (24,3%) y Hungría, con 22% (CUBAENERGÍA, 2012). Teniendo en cuenta lo antes expuesto es imprescindible lograr que estas instalaciones funcionen en concordancia con las regulaciones emitidas en materia de Gestión Ambiental.

Conclusiones Parciales:

1. El Sistema de Gestión Medio Ambiental tiene como objetivo determinar qué elementos deben considerar las organizaciones en materia de protección medioambiental para asegurar que en el desarrollo de sus actividades se tenga en cuenta la prevención y la minimización de los efectos sobre el entorno.
2. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que además de medir impacto ambiental, permite a las empresas tener una visión más amplia sobre sus procesos, productos o servicios.
3. La producción de energía tiene claros impactos ambientales y sobre la salud. Al respecto existen variaciones significativas entre las diferentes formas de producción de energía por lo que es importante aplicar la metodología de ACV para cuantificar los impactos ambientales y sobre la salud que la misma ocasiona



Capítulo II

Capítulo II: Caracterización de la empresa y metodología a implementar.

En este capítulo se realiza la caracterización general de la Empresa Eléctrica Cienfuegos y de los grupos de generación distribuida de diesel y de fuel oil pertenecientes a la misma. Además se estructura una metodología para evaluar el impacto ambiental del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica a través de la generación distribuida basada en la familia de normas NC-ISO 14040.

2.1 Caracterización del objeto de estudio.

2.1.1 Empresa Eléctrica Cienfuegos.

En Cienfuegos parte de su desarrollo energético corresponde a la Empresa Eléctrica cuyo objetivo fundamental es hacer llegar la electricidad hasta el lugar más apartado del territorio, desarrollando las actividades de generación, entrega de energía, mantenimiento de redes y construcción y otros servicios de carácter industrial. Por la Resolución No 014/2001 se crea la Empresa Eléctrica Cienfuegos, a todos los efectos legales, integrada a la Unión Eléctrica subordinada al Ministerio de la Industria Básica. La Dirección Provincial se ubica en la calle 33 # 5602 entre las avenidas 56 y 58 en la ciudad de Cienfuegos.

La Empresa Eléctrica es una organización económica, con personalidad jurídica, balance financiero independiente y gestión económica, financiera, organizativa y contractual autónoma. Su funcionamiento se basa en el principio de autofinanciamiento empresarial por lo que no solo debe cubrir sus gastos con sus ingresos sino que además debe generar un margen de utilidades. Su creación, traslado, función o disolución corre a cargo del Ministerio de Economía y Planificación a propuesta del Ministerio de la Industria Básica que la atiende en correspondencia con los procedimientos establecidos. Por resolución No. 652 del Ministerio de Economía y Planificación de 30 de diciembre del 2004, a la Empresa Eléctrica Cienfuegos se le aprueba el Objeto Empresarial destacándose en su contenido el desarrollo de los procesos claves de Generar, Transmitir, Distribuir y Comercializar la Energía Eléctrica de forma mayorista en Moneda Nacional y Moneda Librementemente Convertible, así como minorista en Moneda Nacional, además de la prestación de servicios a otras entidades y partes interesadas. La estructura Organizativa de la Empresa (Anexo 1) alineada con la Visión y Misión en el desarrollo de sus funciones está conectada con los objetivos estratégicos así como a los objetivos de trabajo de cada área que la integra. Su diseño responde en cierta medida al de una estructura horizontal (Plana) con un perfil de dirección que se encuadra entre consultivo y participativo aunque la tendencia es al participativo. Las Direcciones de Regulación y Control concentran su

desempeño en trazar y proponer políticas, disposiciones y procedimientos necesarios para el funcionamiento eficaz de la entidad y una vez aprobadas ejercen el control y evaluación.

De acuerdo con sus funciones y los procesos que ejecutan se definen en la empresa como Direcciones de Regulación y Control las siguientes:

1. Dirección General
2. Dirección de Capital Humano.
3. Dirección de Contabilidad y Finanzas.

Las Unidades Básicas Eléctricas (U.B.E.) son divisiones internas, que se crean por la empresa y la organización superior de dirección para organizar los procesos de producción de bienes y servicios, actúan con independencia relativa, se subordinan al Director General de la empresa y no cuentan con personalidad jurídica propia. La unidad básica eléctrica es la única figura empresarial a partir de la cual se organizan todos los procesos de producción o de prestación de servicios de la empresa. Ellas son las siguientes.

1. UBE Generación.
2. UBE Transporte Automotor.
3. UBE Inversiones.
4. UBE Centro de Operaciones.
5. UBE Servicios Comerciales.
6. UBE Despacho de Carga.
7. UBE Aseguramiento Logístico.
8. UBE Uso Racional Energía.
9. UBE CEN
10. UBE Municipales (Cienfuegos, Palmira, Cruces, Lajas, Rodas, Abreus, Aguada y Cumanayagua)

Las Unidades Básicas Eléctricas Municipales (UBEM), las cuales tienen asignado los recursos técnicos, humanos, materiales y tecnológicos necesarios para cumplir con éxito la Misión encomendada y la Visión Empresarial acordada.

Misión de la Empresa: “Brindar un suministro de energía eléctrica a los consumidores privados y estatales de forma continua dentro de los parámetros de calidad establecidos según el reglamento del suministro eléctrico”.

Visión de la Empresa: “Somos líderes nacionales reconocidos por la excelencia en la prestación del servicio eléctrico, distinguiéndonos en la atención rápida y especializada a nuestros clientes”.

La Empresa Eléctrica Cienfuegos atiende una extensión territorial de 4177.8 km. donde están instalados 2419.3 km. de líneas aéreas de las cuales 407.35 km. son líneas de transmisión,

457.02 km. de subtransmisión, 1554.93 de distribución primaria. Tiene instalado 5221 transformadores de distribución, 132 subestaciones de 33 kilo Volts (kV) y menores y 7 subestaciones eléctricas de 110 y 220 kV.

Cuenta con diez centrales de generación distribuida (ocho centrales eléctricas diesel y dos centrales eléctricas fuel oil cada una con 16,8MW de capacidad de generación instalada que pertenecen a la UBE Generación, en el Anexo 2 se representa el organigrama de la misma. Para la investigación se toman como objeto de estudio las centrales eléctricas Fuel Oil-Cruces y la Diesel-Junco Sur por ser las más representativas dentro de cada grupo.

Además son parte también de sus redes eléctricas 6733 instalaciones de alumbrado público, 4443 protecciones por relevadores y 193 equipos de comunicaciones y tele mecánica.

Hasta abril de 2011 la empresa atiende y ofrece servicios a 143 718 clientes de los cuáles 135287 conciernen al sector residencial, 6629 al comercial, 243 al industrial, 1548 al agropecuario y 11 al alumbrado público. Este total de clientes registra un consumo de energía de 51 171 600 MW.h.

Hoy la Empresa Eléctrica Cienfuegos se convierte en el principal proveedor de Energía Eléctrica de la provincia de Cienfuegos en la tabla 2.1 se muestra los clientes más importantes.

CLIENTES PRINCIPALES	Consumo de energía			Porcientos	
	Año2011	Plan	Real	%	%
	MW.h	MW.h	MW.h	Real/Plan	Real/AñoAnte
Corporación Cemento Cubano	129131	130000	122157	93	95
Cuven Petrol	8241	50000	63021	126	765
U/P Acueducto Cfg	22732	22550	7851	34	35
Empresa de Cereales	15109	15000	13484	89	89
Empresa Cultivos Varios Horquita	10309	10000	4890	48	47
U/P Papelera Damují	6264	6000	5398	89	86
Termoeléctrica Carlos M Céspedes	5252	4550	2442	53	47
E.A. Antonio Sánchez	5227	5500	4202	76	80
Direcc. Provincial de Acueductos y Alcantarillado.	5218	5550	5535	99	106
Emp.Aprov.Hidráulico Cienfuegos	5055	5200	6591	126	130
Total	212538	254350	235571	92,6	110

Tabla 2.1: Comportamiento del consumo de los 10 principales clientes no residenciales de la Empresa Eléctrica. **Fuente:** Elaboración Propia.

A continuación en la tabla 2.2 se aprecia la segmentación del mercado por consumo energético y seguidamente en la tabla 2.3 los principales proveedores de la empresa.

CLIENTES	CANTIDAD
Estatat MN Mayor de 37,5 kW.h de demanda	889
Estatat MN Menor de 37,5 kW.h de demanda	5634
Estatat MLC Mayor de 37,5 kW.h de demanda	132
Estatat MLC Menor de 37,5 kW.h de demanda	548
Privado no residencial	1979
Privado residencial	135540
Privado MLC	19

Tabla 2.2: Agrupación de los clientes de acuerdo al segmento del mercado. **Fuente:** Elaboración propia.

Proveedor	Mercancía adquirida (miles pesos)
ENERGOMAT	3 759 129,70
EPEM	1 125 058,62
EMGEF	837 385,43
GEYSEL	637 739,27
ETECSA	325 569,69
CIMEX	292 402,92
BPA	260 223,93
ESTEC	198 726,35
CUBALUB	152 851,74
EMP MTTO VIAL	144 282,98
CUBATAXI	139 450,48
EPI CFGOS	116 832,94
ALM.UNIVERSALES	107 782,74
CUBATEL	77 991,82

Tabla 2.3: Principales proveedores de la Empresa Eléctrica Cienfuegos. **Fuente:** Elaboración propia.

2.1.1.1 Central eléctrica de Fuel Oíl-Cruces.

La Central Eléctrica de Fuel Oíl Cruces se encuentra al Suroeste del Municipio de Cruces, Cienfuegos. Limita al Norte con la antigua Fábrica de Tableros “PROCUBA”, al Este con la

Casa del Azucarero de la Granja “Ramón Balboa”, al Sur con la Carretera Cienfuegos – Santa Clara y al Oeste limita con las áreas de la Granja Agropecuaria “Ramón Balboa”. Surge como parte del Programa de la Revolución Energética según la siguiente cronología:

Emplea la tecnología HYUNDAI de Corea; consta de tres baterías de cuatro máquinas de 1,7 MW cada una. Los generadores son de 4160 V. Los motores primarios son motores de combustión interna que arrancan y paran con diesel pero su combustible básico es el fuel oil, al cual se le aplica un proceso de tratamiento adecuado en un módulo diseñado para este fin. Su viscosidad se reduce aquí hasta 12 cts. y se eleva su temperatura hasta 110° C. así desde esta unidad denominada HTU (Hidrocarbure Treatment Unit), se alimentan los motores según se seleccione el combustible ya sea diesel o fuel oil

Cada batería tiene su propia unidad de preparación de combustible, su estación de compresores y su caldera de vapor. Una vez los motores funcionando, los gases de escape de los mismos se envían a un colector de escape que dosifica dichos gases calientes a una caldera de 1 tonelada/hora que produce vapor a 7 bar de presión y este se envía a los calentadores de fuel oil en los HTU, a la casa de bombas en la entrada y a las trazas de vapor para mantener el combustible fuel a una viscosidad y temperatura adecuadas que le permitan circular mejor por las tuberías.

La Central Eléctrica cuenta además con una planta de tratamiento químico de agua (PTQA) y un laboratorio para el análisis del combustible y del agua industrial, cuyos receptores de esta agua tratada son las calderas de vapor, las centrífugas para el lavado y el sello de agua y los motores de combustión interna para el sistema de enfriamiento mediante radiadores con ventilación forzada.

En esta Central Eléctrica laboran personal profesional y técnico, el nivel cultural mínimo es noveno grado, los trabajadores poseen alta confiabilidad y alto espíritu de sacrificio, el salario mínimo es 360.00 pesos en M.N. y una estimulación en C.U.C. que depende de los resultados del trabajo al encontrarse dentro del sistema de perfeccionamiento empresarial. La central cuenta con una plantilla de 59 trabajadores representada por 3 dirigentes 6 Especialistas 12 Técnicos profesionales y 38 Obreros con una cantidad de 8 mujeres. El personal de operación labora en 4 turnos rotativos conformado por un jefe de turno de planta con operadores, un jefe de sala de control automático, el personal de servicio administrativo, los tecnólogos y de apoyo trabajan en horario diurno

2.1.1.2 Central eléctrica Diesel - Junco Sur.

La Central Eléctrica Diesel - Junco Sur se encuentra en la avenida 5 de Septiembre Reparto Junco Sur, Municipio: Cienfuegos, Provincia: Cienfuegos. La misma limita al Norte con terreno

privado destinado a potreros, al Sur aproximadamente a 200 m de la Ave 5 de septiembre que conduce a la ciudad y a la Playa Rancho Luna, por el Este colinda con terreno de propiedad privada dedicado a la cría de animales y por el Oeste con viviendas particulares.

Surge como parte del Programa de la Revolución Energética para generar, transformar y distribuir la energía eléctrica con los grupos de electrógenos instalados y con la Sub Estación.

Emplea la tecnología MTU y consta de dos baterías con ocho máquinas cada una ubicada en dieciséis contenedores de 2.5 X 11 metros. El personal de turno que opera la central diariamente se compone de 2 brigadas formadas cada una por 3 trabajadores que atienden cada batería

La central cuenta con depósitos de combustible elevados constituidos por 9 tanques ubicados en el extremo derecho de la Batería, montado sobre pilotes de hormigón, estos son de metal, de aproximadamente cien mil litros. En el lateral derecho se encuentra la primera agrupación de tanques, compuesta por tres tanques con capacidad de 100 m³ cada uno utilizados como depósitos de reserva, a continuación se encuentra la segunda agrupación de tanques utilizado para recepcionar combustible formado por cuatro tanques de 100 m³ después se pasa por el área de recepción de combustibles que se ubica la centrifuga y posterior está la tercera agrupación de tanques, llamados de operación, compuesta por dos tanques de 100 m³ y existe otro tanques de reserva de agua contra incendio de 100 m³.

El área de centrifugado está compuesta por 2 bombas, que se utilizan para extraer las impurezas al combustible.

Existen dos locales de control (Contenedores) ubicados entre los tanques y los motores generadores, en su interior se encuentran: los paneles de señalización, el banco de transformadores 34.5 /13.8 kV de 20 MVA .

En el lateral izquierdo de la central se encuentra la Sub-Estación de 13.8/110 kV Junco Sur.

La central cuenta además con cisterna y bomba de agua con cercado perimetral independiente.

2.2 Necesidad del estudio.

La Empresa Eléctrica Cienfuegos es un eslabón fundamental en el desarrollo energético de la provincia, favorece a todos los sectores con el mantenimiento y construcción de redes eléctricas pero sobre todo con la eficaz entrega de energía para el progreso de cualquier actividad. Como parte del programa energético se instalaron los llamados Grupos Electrógenos, ahora llamados Centrales Eléctricas de generación distribuida, para apoyar al Sistema Electroenergético Nacional y poder suplir la demanda energética en determinados horarios o situaciones excepcionales. Como todo lo novedoso implica desconocimiento, se decide realizar un estudio ambiental por la importancia que esto representa para la población en dos de las centrales más

representativas: Fuel Oíl – Cruces y Diesel – Junco Sur, en las cuales funcionan diferentes tecnologías de instalación.

A continuación se observan los gráficos de control con el comportamiento de los consumos de fuel oíl y de diesel en la central eléctrica fuel oíl – Cruces en el período estudiado.

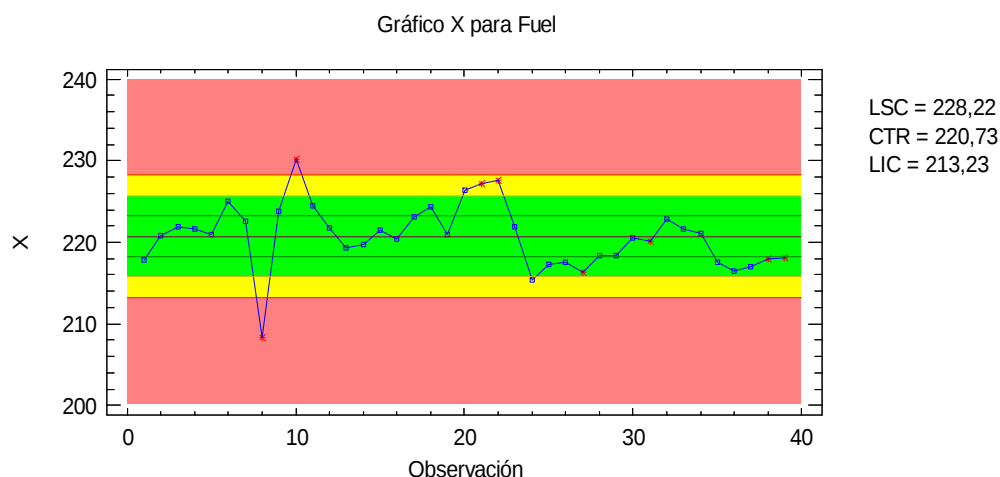


Figura 2.1: Grafico de control para el consumo de fuel oíl en la central eléctrica fuel oíl-Cruces.

Fuente. Elaboración propia.

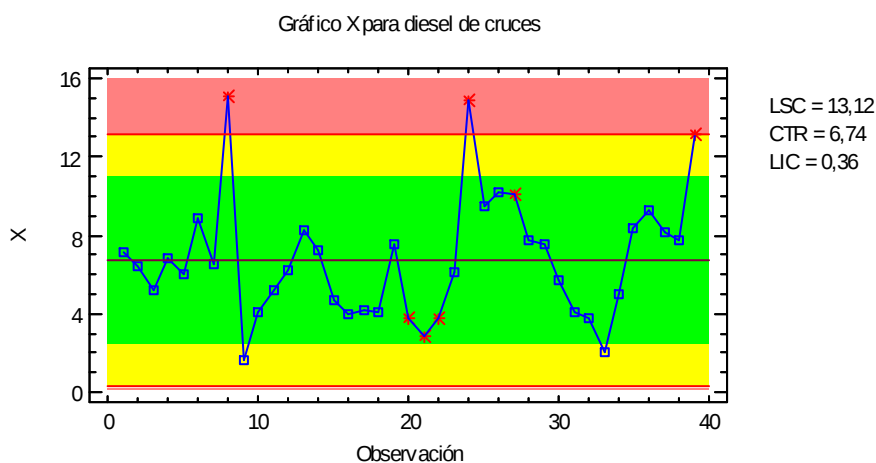


Figura 2.2: Grafico de control para el consumo de diesel en la central eléctrica fuel oíl-Cruces.

Fuente: Elaboración propia.

Estos parámetros fueron estimados a partir de los datos recogidos. De los 39 puntos no excluidos mostrados en el gráfico, dos de ellos se encuentran fuera de los límites de control. Puesto que la probabilidad de que aparezcan dos ó más puntos fuera de límites, sólo por azar, es $5,39801E-7$ si los datos provienen de la distribución normal, se puede declarar que el

proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%. Los índices Cpk (índice de capacidad real) para cada uno de estos consumos dan negativos lo que indica que el proceso está fuera de especificación.

En la figura siguiente se observa el comportamiento del consumo del combustible en la central eléctrica diesel – Junco Sur.

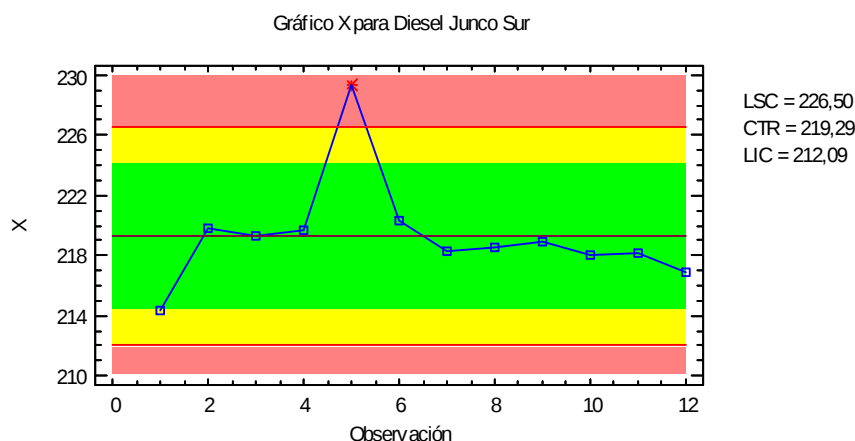


Figura 2.3: Grafico de control para el consumo de diesel en la central Diesel-Junco Sur.
Fuente: Elaboración propia.

De los 12 puntos no excluidos mostrados en el gráfico, uno se encuentra fuera de los límites de control. Puesto que la probabilidad de que aparezcan 1 ó más puntos fuera de límites, sólo por azar, es 0,000323943 si los datos provienen de la distribución supuesta, se puede declarar que el proceso está fuera de control con un nivel de confianza del 95%. En este caso, el Cpk es igual a 0,0984266 lo que indica que el proceso está fuera de especificaciones.

En estos casos el proceso está fuera de especificación, por lo que no existe una alta probabilidad de que se consuma por debajo de lo planificado según la variación actual del proceso. El comportamiento del índice de consumo indica que se está utilizando más combustible de lo establecido.

Las pruebas de bondad de ajuste correspondientes a los datos con que se confeccionaron los gráficos de control de las figuras 2.1 a la 2.3 (Anexo 3, 4, 5) muestran que no se puede rechazar la idea de que siguen distribución normal con un 95 % de confianza.

Mediante el estudio de ACV se podrá abordar el tema medioambiental en este sector, donde existen pocos estudios de este tipo y conocer así los impactos que provoca la generación distribuida de energía eléctrica con fuel oil y diesel al Medio Ambiente, tema de gran importancia en la actualidad por el deterioro que viene sufriendo el Medio Ambiente provocando

la alteración de los ecosistemas e importantes pérdidas de calidad de vida en algunas zonas. Además se contrastará la producción de energía eléctrica en la generación distribuida con la de las centrales termoeléctricas en cuanto a los daños que provocan mediante un estudio que incluye desde la cuna a la tumba a todos los elementos involucrados en la investigación. Al concluir esta investigación se proporcionarán medidas enmarcadas al ahorro económico para minimizar gastos innecesarios para el país en momentos de perfeccionamiento del modelo económico cubano y de crisis global.

2.2 Metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El ACV está compuesto por cuatro etapas básicas, definidas en la norma NC-ISO 14040 y descritas en el capítulo anterior:

- Definición del objetivo y alcance.
- Análisis del inventario del Ciclo de Vida.
- Evaluación del impacto del Ciclo de Vida.
- Análisis de mejoras.

Esta norma especifica la estructura general, principios y requisitos para la realización y presentación de los estudios de análisis de Ciclo de Vida pero no describe en detalle la técnica del análisis de Ciclo de Vida, por lo que esta metodología se propone delinear los aspectos fundamentales a abordar para la aplicación de la misma en la generación de electricidad. A continuación se ilustran las conexiones entre cada una de las etapas con los elementos más relevantes en ellas, lo que permite reconocer que se trata de un proceso iterativo que permite incrementar el nivel de detalle en sucesivas iteraciones.

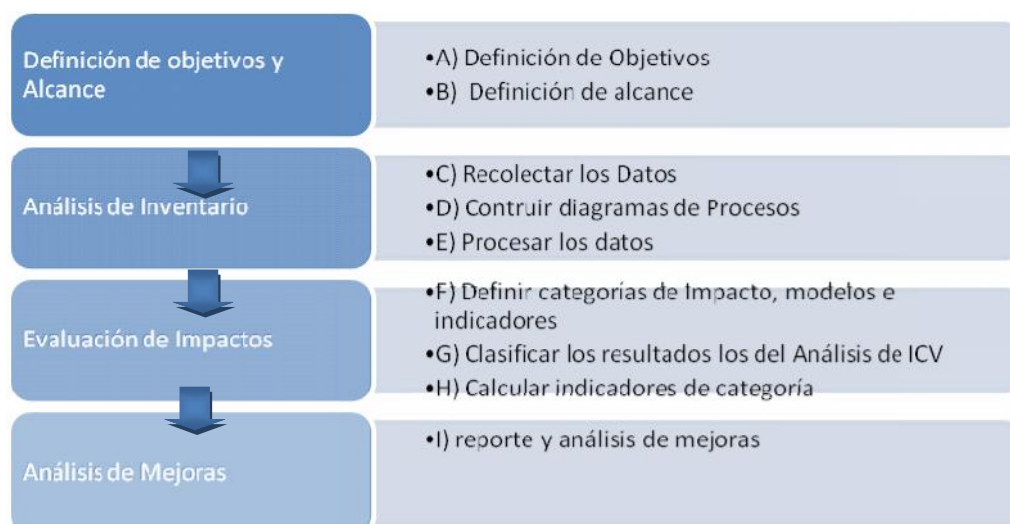


Figura 2.4: Etapas de la metodología ACV. **Fuente:**(Cordero Hernández, Arahít and Pérez Noa, Carlos 2010).

A continuación se describe cada una de las etapas básicas para el desarrollo de la herramienta de ACV según se muestra en las normas NC-ISO 14040, NC-ISO 14041, NC-ISO 14043.

2.2.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.

En esta primera etapa deben definirse claramente el objetivo y alcance del estudio de ACV de modo que sean consistentes con la aplicación que se persigue; para lo cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos en el orden que se plantean:

A) Definición del objetivo. La definición del objetivo del análisis debe ser clara y coherente con la aplicación que se va a dar al estudio.

- La definición de objetivos debe incluir:
- Identificación del cliente y del realizador del estudio.
- Razones para realizar el estudio y el tipo de información que se espera obtener del él.
- Aplicación prevista del estudio y uso que va a hacer con los resultados.
- Destinatario previsto del estudio (es decir, si será un informe interno, si se hará público y a quién).

B) Definición del alcance del estudio.

El alcance debe estar suficientemente bien definido para asegurar que la amplitud, profundidad y detalle del estudio son compatibles y suficientes para alcanzar el objetivo del mismo.

En la definición del alcance de un estudio de ACV se debe considerar y describir claramente: la unidad funcional, el sistema producto a estudiar, los límites del sistema producto, los procedimientos de asignación; los tipos de impacto y la metodología de evaluación de impacto, así como la consiguiente interpretación a utilizar y los requisitos iniciales de calidad de los datos.

Definir función y unidad funcional

La unidad funcional define como se cuantifican las funciones que han sido identificadas, es muy importante que estas funciones sean consistentes con el alcance propuesto en el estudio y que sean capaces de alcanzar los objetivos propuestos.

Una unidad funcional nos da una medida del desempeño de las salidas funcionales de un sistema (producto), su propósito principal es proporcionar una referencia a partir de la cual sean (matemáticamente) normalizadas todas las entradas y salidas, con esto se logra la comparación de los resultados asegurando de esta forma que al analizar distintos sistemas las comparaciones se hagan sobre una base común. La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos: La identificación de las funciones del producto, la selección de una función y la determinación de la unidad funcional, así como la identificación del desarrollo del producto y la determinación

del flujo de referencia como medida de las salidas necesarias de los procesos en un sistema (producto) dado para el cumplimiento de la función expresada por la unidad funcional (Cordero Hernández & Pérez Noa, 2010).

Definir los límites del sistema

Los límites del sistema determinan el alcance de la investigación y los procesos unitarios que deben ser incluidos dentro del ACV. En esta etapa deben quedar definidos los límites geográficos, temporales y las etapas que serán excluidas del análisis.

Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y limitaciones económicas y el destinatario previsto.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deben ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debe modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. Los criterios usados para establecer los límites del sistema deben identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio.

Este análisis sirve para limitar posteriores manipulaciones de aquellos datos de las entradas y salidas que son determinados como significativos para el objetivo del estudio de ACV.

Requisitos de calidad de los datos

Las descripciones de la calidad de los datos son importantes para comprender la fiabilidad de los resultados del estudio y para interpretar apropiadamente el resultado del estudio. Los requisitos de calidad de los datos deben ser especificados a fin de respetar el objetivo y alcance del estudio.

Se recomienda que la calidad de los datos sea caracterizada por aspectos cuantitativos y cualitativos, así como por métodos utilizados para captar e integrar esos datos.

Se recomienda que los datos de sitios específicos o los promedios representativos sean utilizados para los procesos unitarios que constituyen la mayor parte de los flujos de masa y de energía en los sistemas. Es conveniente igualmente utilizar datos de sitios específicos para los procesos unitarios que son considerados por tener emisiones vinculadas al Medio Ambiente.

2.2.2 Etapa 2: Análisis de Inventario.

Esta etapa consiste en la cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio, en la que se incluye el uso de recursos (materias primas y energía), las emisiones a la atmósfera, suelo y aguas y la generación de residuos. Los datos obtenidos en esta fase son el punto de partida para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.

C) Recolectar los datos.

La compilación de los datos exige un conocimiento completo de cada proceso unitario. Para evitar los conteos dobles o los olvidos, la descripción de cada proceso unitario debe ser registrada. Esto implica una descripción cuantitativa y cualitativa de las entradas y de las salidas necesarias para determinar el inicio o el fin del proceso unitario, así como la función del proceso unitario. Cuando el proceso unitario tiene entradas múltiples (por ejemplo, entradas múltiples de efluentes hacia una instalación de tratamiento de agua) o salidas múltiples, los datos que conciernen a los procedimientos de asignación deben ser documentados y comunicados. Las entradas y salidas de energía deben ser cuantificadas en unidades de energía. En su caso, la masa o el volumen de combustible deben igualmente ser cuantificados en la medida de lo posible.

Para los datos compilados de documentos publicados que son significativos para las conclusiones del estudio, es necesario hacer referencia a los documentos publicados que dan precisiones sobre el procedimiento de compilación de los datos.

D) Construir los diagramas de procesos

Partiendo del principio que los procesos fluyen siempre a otros procesos o al entorno ambiental, trazar un diagrama de flujo inicial del proceso, permite que de forma gráfica se aprecien los flujos del sistema con todas sus entradas y salidas más relevantes, reuniéndose, de este modo, los datos necesarios.

Se recomienda describir inicialmente cada proceso unitario para definir:

- dónde comienza el proceso unitario, en términos de recepción de las materias primas o de los productos intermedios;
- la naturaleza de las transformaciones y operaciones que ocurren como parte del proceso unitario;
- dónde termina el proceso unitario, en términos del destino de los productos intermedios y finales.

Es conveniente decidir cuáles entradas y salidas de datos son trazadas a otros sistemas producto, incluyendo las decisiones acerca de las asignaciones. Se recomienda describir el sistema con suficiente detalle y claridad para permitir a otro realizador reproducir el inventario.

Las principales categorías de entradas y de salidas cuantificadas para cada proceso unitario dentro de los límites del sistema son:

- entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas, productos;
- emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo, otros aspectos ambientales.

Es conveniente considerar estas categorías de datos cuando se decide aquellas que serán utilizadas en el estudio. Es conveniente detallar más ampliamente las categorías de datos individuales para satisfacer el objetivo del estudio.

Las entradas y salidas de energía deben ser tratadas como cualquier otra entrada o salida de un ACV. Las entradas y salidas de energía comprenden varios tipos: las entradas y salidas vinculadas a la producción y a la entrega de combustibles, energía de alimentación y energía de procesos utilizada dentro del sistema modelado.

Las emisiones al aire, al agua o al suelo representan a menudo descargas desde fuentes puntuales o difusas, después de pasar a través de dispositivos de control de emisiones. Esta categoría debe comprender, cuando son significativas, las emisiones fugitivas. Pueden ser utilizados parámetros indicadores, por ejemplo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

E) Procesar los datos

Cuando se concluye la compilación de los datos, son necesarios procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar.

A continuación se dan algunas consideraciones importantes sobre los procedimientos de cálculo:

- Los procedimientos de asignación son necesarios cuando se trabaja con sistemas que impliquen varios productos (ej. productos múltiples de la refinación de petróleo). Los flujos de materia y energía, así como las emisiones al ambiente asociadas deben asignarse a los diferentes productos de acuerdo con procedimientos claramente establecidos, que deben ser documentados y justificados.
- El cálculo del flujo de energía debería considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizados, la eficiencia de conversión y distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas asociadas a la generación y uso de dicho flujo de energía. Si no se conocen todos los datos del proceso se recomienda realizar balances de masa en cada etapa del proceso hasta contar con toda la información necesaria para el posterior desarrollo de la investigación.

2.2.3 Etapa 3: Evaluación del impacto.

Esta fase tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto o servicio en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales para comprender mejor su significación ambiental. En general, ese proceso implica la asociación de datos del inventario con impactos ambientales específicos y tratando de valorar dichos impactos. En esta fase se modela cuestiones ambientales seleccionadas, denominadas categorías de impacto, y usa indicadores de categoría para resumir y explicar los resultados de la etapa anterior

Su estructura viene determinada por la normativa ISO 14042:2000, distinguiendo entre una fase técnica considerada obligatoria por la metodología y elementos opcionales de carácter político como se aprecia en la figura 2.5 que a continuación se ilustra.

Asimismo, con respecto a los elementos opcionales e informaciones, mientras sean optativos, también se hacen algunas consideraciones de importancia y pasos a seguir para su elaboración

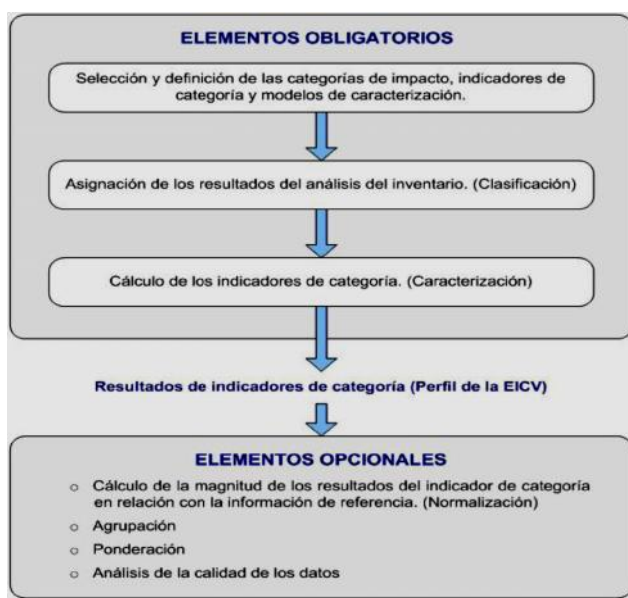


Figura 2.5: Elementos que componen la valoración del impacto del ACV. **Fuente:** (Cordero Hernández & Pérez Noa, 2010).

F) Definir categorías de impacto, indicadores de la categoría y modelos de estimación

Las categorías de impactos son los efectos sobre el Medio Ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho, éstos son los objetivos y alcance del ACV.

Las categorías de impactos medioambientales se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema. Estas categorías, a su vez, tendrán distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

G) Clasificar resultados del análisis del inventario.

El procedimiento consiste en identificar y correlacionar todas las cargas ambientales a una o más categorías de impactos potenciales, es un procedimiento de rutina que se asigna a la totalidad de las cargas ambientales del sistema analizado.

La fase puede incluir, entre otros, elementos como:

- asignación de los datos del inventario a categorías de impacto (clasificación);
- modelación de los datos del inventario dentro de categorías de impacto (caracterización);

- posible agregación de los resultados en casos concretos y sólo cuando proceda (valoración).

H) Calcular los indicadores de categoría

El último paso a seguir se conoce como Caracterización, el cual se lleva a cabo mediante la aplicación de los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, miden la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

2.2.3.1 Método de impacto ambiental empleado.

Este método presentado por MSc. Ing. Berlan Rodríguez Pérez, profesor de la Universidad de Cienfuegos, Cuba e investigador de la Red Latinoamericana de Análisis de Ciclo de Vida. Utiliza funciones de velocidad de agotamiento en la mayoría de sus categorías de impacto, de ahí el nombre de Eco-velocidad. Otra de las características distintivas del método resulta la aplicación de técnicas de estimación para el completamiento de las categorías de impacto, incluyendo en ellas la mayor cantidad posible de sustancias identificadas por otros métodos como que afectan el mecanismo ambiental medido por la misma.

Caracterización.

Eco-Speed cuenta con 3 categorías de daño, las que son afectadas por 13 categorías de impacto, la forma en que se relacionan se representa en la figura 2.6. En general el basamento del método es utilizar funciones de agotamiento, donde los resultados sean adimensionales, utilizando una relación fraccionaria, donde el numerador representa el elemento a analizar y el denominador representa la cantidad disponible de ese elemento, de esta forma se considerarán entonces los impactos potenciales de cada elemento analizado, como se presentan a continuación para cada una de las categorías de daño y de impacto.



Figura No 2.6: Relaciones entre las categorías de Impacto y de daño en el método Eco-Speed.

Fuente: (Rodríguez Pérez, 2011)

1.- Categoría de daño: Daños a la Salud Humana (Damagesto Human Health).

Esta categoría de daño representa la cantidad de casos de problemas de salud, que probablemente se presenten en el horizonte de tiempo definido. Está determinado por la suma de los $HE = CA + NCA + CW + NCW + CS + NCS$ impactos potenciales que se generan por la emisión de sustancias carcinogénicas y no carcinogénicas al aire, agua o suelo. Su forma de cálculo se representa en la ecuación 2.3

(2.3)

Donde:

- HE: Indicador de daños a las personas en función del agotamiento
- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de carcinogénicos en el aire.
- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de no carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de no carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de no carcinogénicos en el suelo.

A continuación se describen las categorías de impacto incluidas en esta categoría de daño.

- **Categoría de impacto:** Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua y No Carcinogénicos en el aire, el suelo y el agua.
- Cada categoría incluye los impactos potenciales de las emisiones de sustancias carcinogénicas y no carcinógenas al aire, al suelo y al agua. Los factores utilizados se

componen inicialmente de los calculados por el modelo USETox para las sustancias incluidas en (Rosenbaum, y otros 2008), a las que se adicionaron las demás sustancias contenidas en categorías similares de los métodos: Eco-Indicador 99 (en sus tres versiones), Impact 2002+, TRACI y EDIP, de las cuales se pudieron establecer estimaciones de sus factores de caracterización para el modelo USETox. El trabajo de la estimación posibilita la utilización de la mayor cantidad de sustancias para cada una de estas categorías.

Los factores de caracterización para cada sustancia representan los casos potenciales de problemas de salud que provocan por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por Casos/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador para cada categoría se representa a continuación en la ecuación 2.4.

$$\left. \begin{array}{l} \text{NCA} \\ \text{CA} \\ \text{NCW} \\ \text{CW} \\ \text{NCS} \\ \text{CS} \end{array} \right\}$$

Dónde:

- CA: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el aire.
- NCA: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el aire.
- CW: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el agua.
- NCW: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el agua.
- CS: Indicador de daños potenciales por la presencia de Carcinogénicos en el suelo.
- NCS: Indicador de daños potenciales por la presencia de No carcinogénicos en el suelo.
- CF_i: Factor de Caracterización para la sustancia “i” para cada categoría.
- M_i: Masa emitida de la sustancia “i” para cada categoría.
- n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.

2.- Categoría de daño: Consumo de los recursos (Resources Consumption).

Para el desarrollo de esta categoría se utilizaron las informaciones provistas por varios organismos internacionales, dedicados a la manipulación de datos estadísticos relacionados, entre ellos los más importantes consultados son: (UnitedNations2010), (DOE/EIA 2009), (Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009) y (EUROSTAT, European Comision 2008).

➤ Categoría de impacto:

- Para el cálculo de impacto en el uso del agua, se tienen en cuenta las entradas y salidas al sistema de producto analizado, a partir de cada uno de los posibles orígenes, o fuentes de abasto, ya que el cálculo de la categoría se basa en dividir este volumen de agua por la cantidad total disponible de ese mismo tipo de recurso, como se muestra en la ecuación 2.5.

Cantidad usada

—

Contaminación del agua por eutrofización

Factor de caracterización

—————

—————(2.5)

Dónde:

- v_i : representa el volumen de agua proveniente de la fuente "i" utilizado por el proceso.
- V_i : representa el volumen total disponible el 95 % del tiempo que existe de la fuente "i".
- k_i : porcentaje que representa V_i del total, pero restado de 1.
- m_i : masa vertida.
- F_i : factor calculado de agua requerida.

Es decir, que solo se tienen en cuenta para este cálculo las fuentes de agua más estables.

- Para el impacto del uso del suelo se ha considerado proponer una ponderación en dependencia del cambio de uso que se realice al utilizar el suelo. Se basa en las clasificaciones de su productividad, donde se utilizan 4 clasificaciones, muy productivo, productivo, poco productivo y muy poco productivo; estas clasificaciones son las utilizadas por las agencias que proveen los datos utilizados para el cálculo del indicador de la categoría (Oficina Nacional de Estadísticas, Cuba 2009)(EUROSTAT, European Commission 2008), por eso se mantienen como tal. Su fórmula de cálculo está definida en la ecuación 2.6.

$$SU = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) + \left(\frac{a_{ij}}{A_i} \right) * k_{ij} \right)$$

(2.6)

Dónde:

- a_{ij} : Área utilizada por el tipo de suelo “i” para el uso “j”.
- A_i : Área disponible del tipo de suelo “i”.
- k_{ij} : Factor de ponderación correspondiente al tipo de uso de la tierra.
- El uso de la energía se basa en la división de la masa de los recursos energéticos utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la ecuación 2.7, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$EU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{e_i}{E_i} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

- e_i : Representa la masa del recurso energético “i” que se utiliza en el sistema analizado.
- E_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso energético “i”.
- El uso de los minerales se basa en la división de la masa de los recursos minerales utilizados, dividiéndolos por la masa de los recursos disponibles, según la ecuación 2.8, la cual representará la velocidad de agotamiento del recurso analizado.

$$MU = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{M_i} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

- m_i : Representa la masa del recurso “i” que se utiliza en el sistema analizado.
- M_i : Es la masa disponible en reservas probadas del recurso “i”.

3.- **Categoría de daño:** Daños a los ecosistemas (Damages to ecosystems).

Esta categoría de daño se compone de la contaminación emitida a la tierra por los mecanismos ambientales de calentamiento global, capa de Ozono y emisiones al suelo, agua y aire. Su evaluación está dada en los casos de la toxicidad, en funciones de afectación potencial y en los casos de capa de ozono y calentamiento global, están dados en unidades de las sustancias de referencia, CFC-11 y CO₂ equivalentes.

➤ **Categoría de impacto:** Ecotoxicidad del Aire, el Suelo y el Agua.

- Esta categoría incluye los impactos potenciales de las sustancias incluidas en el modelo USETox (Rosenbaum, y otros 2008), a las que se adicionaron las demás sustancias contenidas en categorías similares de los métodos: Eco-Indicador 99 (en sus tres versiones), Impact 2002+, TRACI y EDIP, de las cuales se pudieron establecer estimaciones de sus factores de caracterización para el modelo USETox.

Los factores de caracterización para cada sustancia representan la fracción potencialmente afectada que provocada por cada kg de las sustancias emitidas al aire, al suelo y al agua, su unidad de medida está dada por PAF/kg y estos factores son unidades comparativas que permiten relacionar la importancia de una sustancia con otra.

La forma de cálculo del indicador de la categoría se representa a continuación en la ecuación 2.9.

$$\left. \begin{matrix} EA \\ EW \\ ES \end{matrix} \right\} = \quad (2.9)$$

Donde:

- EA: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el aire.
- EW: Indicador de daños potenciales por la presencia sustancias peligrosas en el agua.
- ES: Indicador de daños potenciales por la presencia de sustancias peligrosas en el suelo.
- CF_i: Factor de Caracterización para la sustancia “i” para cada categoría.
- M_i: Masa emitida de la sustancia “i”.
- n: cantidad de sustancias incluidas en cada categoría.
- En la categoría de impacto al calentamiento global el cálculo de los efectos potenciales que producen las sustancias conocidas como contribuyentes al efecto invernadero, resulta de la multiplicación de la masa emitida son su correspondiente factor de potencial de calentamiento global, estos factores son dados a conocer por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Resultando la fórmula de cálculo como la ecuación 2.10.

$$CC = \sum_{i=1}^n (GWP_i * m_i) \quad (2.10)$$

Donde:

- CC: Representa el indicador de daños potenciales de las sustancias analizadas.
- m_i: representa la masa emitida de la sustancia “i”.
- GWP_i: Representa el Potencial de Calentamiento Global de la sustancia “i”.
- En la Capa de Ozono se calculan los impactos potenciales de las sustancias probadas como agotadoras de la capa de Ozono, para este cálculo se utilizan los factores de potencial de agotamiento del Ozono brindados por la organización meteorológica mundial. La ecuación para el cálculo resulta la siguiente:

$$OZ = \sum_{i=1}^n (ODP_i * m_i) \quad (2.11)$$

Donde:

- ODP_i : representa el factor de potencial de agotamiento del Ozono de la sustancia “i”
- m_i : representa la masa de la sustancia “i” emitida.

2.2.4 – Etapa 4: Análisis de mejoras.

El ACV se finaliza con el análisis de todos los datos finales con respecto a sus significados, incertidumbres y sensibilidad sobre los resultados parciales. En esta última fase los resultados anteriores deben ser reunidos, estructurados y analizados. Aquí debe confeccionarse una estructura de análisis de los resultados, con un análisis de sensibilidad e incertidumbres, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, o en el caso de estudios de análisis del inventario del Ciclo de Vida, los resultados del análisis del inventario solamente, de acuerdo con el objetivo y alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con el objetivo y alcance del estudio. La fase de interpretación puede abarcar el proceso iterativo de examen y revisión del alcance del ACV, así como la naturaleza y calidad de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo definido.

Aunque las acciones y decisiones subsecuentes pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, se mantienen fuera del alcance del estudio de ACV, en tanto que otros factores, como la realización técnica y los aspectos económicos y sociales también se consideran.

I) Reporte y análisis de mejoras.

En el reporte de la investigación deben definirse:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el proceso productivo.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de mejora, si es posible.

Conclusiones Parciales

1. Se realiza una caracterización general de la Empresa Eléctrica Cienfuegos y de las centrales eléctricas de generación distribuida: fuel oil-Cruces y diesel-Junco Sur pertenecientes a la misma para que quede una detallada descripción del caso de estudio.
2. Se efectúa el estudio por la necesidad de ahorrar combustible para disminuir los consumos y los gastos en momentos de crisis y de problemas ambientales. Además para poder contar con los impactos ambientales de la generación distribuida y compararlos con otras fuentes de generación de electricidad.
3. Se describe el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida desarrollado en la serie de normas NC-ISO 14 040, a través de una serie de pasos que permiten adecuar el estudio en función de los objetivos de la investigación.



Capítulo III

Capítulo III: Aplicación del procedimiento.

En este capítulo se aplica la metodología expuesta anteriormente en la producción de energía eléctrica mediante la generación distribuida y se analizan los resultados obtenidos en busca de mejoras a los impactos medioambientales producidos por las cargas asociadas a las entradas y salidas del proceso.

3.1 Etapa 1: Definición de los objetivos y alcance.

3.1.1 Objetivos.

Con el presente estudio se busca:

- Construir un Inventario de Ciclo de Vida en la generación distribuida de energía eléctrica con fuel oil y diesel para disponer de los recursos consumidos (entradas), y de las emisiones y residuos generados (salidas) durante el proceso.
- Evaluar y cuantificar los impactos asociados al proceso de generación distribuida de energía eléctrica utilizando fuel oil y diesel.
- Comparar el perfil ambiental de los inventarios realizados con los de otras fuentes de generación de electricidad.
- Apreciar las posibles mejoras que pueda tener el proceso para reducir los impactos, tanto medioambientales como económicos.

3.1.2 Alcance del estudio.

El alcance del estudio contempla los aspectos relacionados con las funciones del sistema estudiado y con el destino final del producto, en este caso, los consumidores nacionales ya sean estatales ó públicos de la energía eléctrica generada.

-Unidad funcional: Como unidad funcional de nuestro sistema está la producción de 1MW.h.

-Definición de los límites del sistema: Los límites del sistema se definen según la información que se tiene y los objetivos que se pretenden alcanzar definidos anteriormente. A continuación se definen los límites del sistema estudiado:

- **Límites geográficos.:** El Análisis de Ciclo de Vida se limita a la generación distribuida de energía eléctrica en las centrales eléctricas fuel oil-Cruces y diesel-Junco Sur ubicadas en la provincia de Cienfuegos.
- **Límites temporales:** El tiempo de análisis incluye los años 2009, 2010, 2011 y el primer trimestre del 2012.

Los límites del sistema están bien enmarcados “de la cuna a la tumba” ya que comienza con los productos iniciales para la producción de energía eléctrica, combustible, agua y energía eléctrica insumida y termina con la producción de los Mega Watts puestos en las barras del SEN (Sistema Electroenergético Nacional) y el análisis de los residuos derivados de esta producción. En los límites no se incluye la construcción de la infraestructura ni el transporte de los materiales o equipos.

- **Calidad de los datos.:** Los datos para este análisis han sido seleccionados de manera exhaustiva del Grupo de Mantenimiento-Explotación y del Centro de Control pertenecientes a la Unidad Básica Eléctrica Generación y de los Grupos de Explotación pertenecientes a las centrales eléctrica fuel oil-Cruces y diesel-Junco Sur. Cada dato introducido se chequeó contra el reportado al OSDE en igual período la Unión Nacional Eléctrica para lograr el control y medición del desenvolvimiento productivo y medioambiental de las centrales.

Además a los datos se les realizó pruebas de bondad de ajuste para una mayor confianza estadística por poseer datos históricos de las entradas y salidas del proceso. En los (Anexos 6 y 7) se muestran las distribuciones probabilísticas y los parámetros obtenidos para cada uno de los materiales que intervienen en el proceso.

Para realizar el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se utilizó la herramienta informática OpenLCA desarrollado por Green DeltaTC . El carácter de fuente abierta de este software permite modificar y adaptar el software a las necesidades específicas. Además el mismo está libre de utilizar las aplicaciones de la licencia de apertura, donde las tasas son críticas. Los usuarios pueden seleccionar el formato que mejor almacena los datos que necesiten para su propósito, en nuestro caso se utilizó Eco-speed como base comparativa, por tener esta las características de nuestra región evitando así las incertidumbres que se producen al utilizar las de la región europea.

3.2 Etapa 2: Análisis del inventario.

3.2.1 Recolectar los datos.

Para la recolección de los datos involucrados en la producción de energía eléctrica se deben describir los sistemas interrelacionados entre sí que hacen posible la generación estable y confiable de la electricidad, cada sistema forma parte del Ciclo de Vida de la producción de energía eléctrica.

3.2.1.1 Descripción del proceso de generación distribuida de energía eléctrica en la central Fuel Oil - Cruces.

Para una mejora significativa en la disponibilidad, maniobrabilidad y disminución de los costos de la generación del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), se ponen en explotación las

centrales eléctricas que consumen fuel oíl situadas en las cercanías de las subestaciones eléctricas para ser sincronizados al SEN y bajo el mando del Despacho Nacional de Carga (DNC).

El emplazamiento de Cruces cuenta con tres baterías HYUNDAI de modelo 9H21/32 las que se conectan en paralelo con la red Nacional, usando combustible diesel para su arranque y parada, grandes fluctuaciones de la carga y el barrido de las líneas y empleando el fuel oíl como combustible base. Cada batería contiene:

- Cuatro contenedores de motores - generadores (MDU).
- Un contenedor de tratamiento de combustible (HTU).
- Una instalación para producir vapor (caldera).
- Una instalación de aire comprimido.
- Una instalación para los Paneles Eléctricos (ETU) y para los sistemas de monitoreo (contenedor).
- Una planta de tratamiento de agua.
- Una instalación para la Sala de Control de todo el emplazamiento.

Sistema que componen el motor.

El motor que forma parte del grupo electrógeno está compuesto por varios sistemas (Anexo 8) que garantizan el correcto funcionamiento del mismo, estos sistemas son:

- Sistema de combustión.
- Sistema de aire.
- Sistema de agua de enfriamiento.
- Sistema de aceite de lubricación.
- Sistema control automático.

El motor necesita alimentación de combustible y alimentación continua de aire para la combustión, agua de enfriamiento, y aceite lubricante para operación normal y un sistema de control y protecciones automático para garantizar la operación segura y la protección del mismo. El motor tiene sistema modulado llamado Modulo de Alimentación que consiste en el bloque de alimentación y componentes para cada sistema de fluido. El bloque de alimentación es una estructura hecha de molde de hierro e instalado al lado libre del motor este proporciona pasillos moldeados y espacios para montar el equipo de cada sistema de fluido. Entonces, los circuitos internos para agua, aceite y aire pueden ser completados sin tubería, y por lo tanto proporcionan mantenimiento más fácil. Los datos técnicos del motor Hyundai 9H 21/32 se presentan en el (Anexo 9).

Parámetro	U/M	1 maquina	1 Batería	Observaciones
Flujo de gases	m ³ /h	18421	73684	
(NO _x)	g/s	4.07	16.28	
(SO ₂)	g/s	6.64	26.56	Considerando un contenido de azufre en el combustible del 4 %

Tabla 3.1: Flujo de gases emitidos por el escape de los motores. **Fuente:** Elaboración propia.

Emanación de gases de combustión.

Los datos de los gases emitidos a la atmósfera fueron calculados a través de las fórmulas de la reacción química, teniendo en cuenta la composición del combustible que se utiliza en las centrales de generación distribuida. Este método aplica el principio de estequiometría de la combustión y utiliza el contenido de carbón en los combustibles (Anexo 10)

Año	CO ₂	SO _x	NO _x
	kg	kg	kg
2009	0,000760599	9,76881E ⁻⁰⁶	1,0252E ⁻⁰⁵
2010	0,000761897	9,78548E ⁻⁰⁶	1,02748E ⁻⁰⁵
2011	0,007521541	9,66034E ⁻⁰⁵	0,000101434
1er trim. 2012	0,000745423	9,57391E ⁻⁰⁶	1,00526E ⁻⁰⁵

Tabla 3.2: Gases emitidos a la atmósfera para 1MW.h. **Fuente:** Elaboración propia.

Generador Eléctrico.

El generador está diseñado para ser montado bajo techo, a una temperatura ambiente de 45 °C y una humedad relativa de más del 90 %.

Los generadores están compuesto por una maquina de campo magnético giratorio, en la cual los rotores cilíndricos cargan el embobinado excitado magnéticamente por corriente directa y los embobinados de campos giran dentro del estator, el cual contiene el embobinado de salida de corriente alterna. Los generadores incorporan un excitador de corriente y rectificadores giratorios montados en el eje, los cuales proveen la excitación de corriente para la maquina principal.

El enfriamiento interno del generador es con un abanico montado en el extremo del eje, que trae el aire de enfriamiento axialmente a través de la maquina. El consumo de combustible en el Terminal del generador es de 200 g/kW.h.

Los cojinetes son de una sola manga y la lubricación es automática.

El generador está provisto con un calentador de corriente alterna de 220 V para prevenir la condensación mientras la maquina este apagada.

Datos técnicos del generador eléctrico.

El generador eléctrico es de fabricante HYUNDAI, del tipo sin escobillas y rotando con el embobinado de campo, a continuación sus características técnicas.

Parámetro	Unidad	Valor
Salida nominal	kVA	2127 (1701 kW)
Voltaje nominal	V	4160
Corriente nominal	A	295.1
Frecuencia Nominal	Hz	60
Factor de potencia nominal	Cos ϕ	0.8
Velocidad nominal	rpm	900
Sobre velocidad	rpm	1080
Números de polos	-	8
Tipo de excitación	-	Sin escobilla y autoexcitable
Voltaje de excitación	V	95
Corriente de excitación	A	6,5
Tipo de cojinete	-	Manga
Numero de cojinete	-	1
Tipo de enfriamiento	-	Aire
Eficiencia a 100 % carga	%	96 (con fp 1), 94 (con fp 0,8)
Conexión de embobinado	-	Estrella
Momento de inercia GD^2	kg – m ²	648
Peso	kg	Estator ----- 5145
		Rotor ----- 2655
		Total ----- 7800
Temperatura de aire de entrada	°C	Máxima 45
Temperatura de aire de salida	°C	Baja 100
Cant aire enfriamiento	m ³ /seg	Aproximadamente 3.0

Tabla 3.3: Especificaciones técnicas del generador eléctrico. **Fuente:** Procedimiento de operación de la generación distribuida.

Sistema de Combustible

Los sistemas de combustible están destinados a unificar todo el esquema operativo de los tanques y la casa de bombas de recepción con su respectivo equipamiento para de esta forma suministrar la cantidad suficiente de diesel o fuel oíl al contenedor (HTU) donde están los tanques de uso diario, con la eficiencia y seguridad en la explotación requerida.

El fuel oil y el aceite de lubricación requieren de un sistema de calentamiento y centrifugado lo que hace el esquema similar al de una central eléctrica

El sistema de combustible está formado por:

- Sistema de combustible exterior
- Sistema de combustible interior
- Sistema FHO.
- Sistema MDO.

El sistema de combustible exterior es general para todas las baterías y es el que se ocupa de recibir el combustible en los tanques de recepción y bombearlos hacia cada uno de los contenedores de tratamiento de combustible, utilizando esquemas independientes para diesel y para fuel oil.

El sistema de combustible interior es el encargado de purificar, filtrar, calentar y bombear el combustible hacia los motores de cada planta con los parámetros requeridos para la explotación del motor ya sea para el caso del fuel o del diesel, aunque en este último no existe ni calentamiento ni centrifugado. El sistema de combustible interior es el que se ocupa de precalentar el combustible fuel sucio hacia la centrifuga y de esta al tanque de uso diario o de servicio (sistema FHO).

También está el sistema de combustible diesel (sistema MDO) que se utiliza para el arranque y la parada y salida por emergencia. En este sistema el combustible no se precalienta ni se centrifuga,

El sistema de combustible exterior está compuesto por los siguientes equipamientos:

- Dos bombas de recepción de combustible fuel oil (P-101A-00).
- Dos bombas de recepción de combustible diesel oil (P-101B-00).
- Dos bombas de alimentación de combustible fuel oil.
- Dos bombas de alimentación de combustible diesel.
- Dos bombas de alimentación de combustible diesel.
- Dos Tanques de 100 m³ de fuel oil, con un calentador de boca incorporado cada uno.
- Un Tanque de 100 m³ de diesel oil.
- Dos bombas de impulso de combustible fuel oil.
- Un tanque de Lodo.
- Dos Bombas de lodo.

El sistema de combustible interior está compuesto por el siguiente equipamiento:

- Dos bombas de suministro (supply bomba) de combustible fuel oil (P-101A-00).
- Dos bombas de combustible diesel (P-101B-00).

- Dos bombas de circulación (bomba booster) de combustible fuel oil.
- Calentador de combustible.
- Un Tanque de de fuel oil de suministro (que esta encima del contenedor de la estación de calentamiento y centrifugado).

A continuación las cantidades de combustible y del aceite más utilizado en el período estudiado.

Año	Fuel Oil	Diesel	Aceite (motor, mastrón Ti4040)
	L	L	L
2009	0,222018345	0,006183697	0,001363343
2010	0,22239728	0,005517986	0,001241738
2011	0,219553189	0,006262351	0,001460505
1er trimestre 2012	0,217588486	0,009074176	0,001757033

Tabla 3.4: Consumo de combustible y aceite de la central eléctrica fuel oil – Cruces para 1MW.h. **Fuente:** Elaboración propia.

La centrífuga o purificador es el pulmón del sistema de combustible. Es el equipo que elimina las impurezas y el agua del combustible, permitiendo que este llegue al motor con la calidad requerida para una eficiente combustión.

Los purificadores montados en la central son del tipo, SAMGONG-MITSUBISHI SELFJECTOR GENIO SERIE (también llamado SELFJECTOR). SELFJECTOR es una máquina de centrifugado rápida. Hay que realizar las operaciones con seguridad para exhibir totalmente la función de SELFJECTOR. El manual está totalmente revisado por tratarse de aceites minerales, aceite combustible purificado o aceite de lubricación. A continuación los elementos que componen la centrífuga:

- Válvula cilíndrica de tres vías.
- Calentador de combustible.
- Bomba de impulso.
- Multi- Monitor (MM).
- Función del monitor de goteo (LM).
- Función de detector de descarga (DD).
- Sección del eje horizontal.
- Freno y embrague del freno.
- Dispositivo de abastecimiento de agua.

- Bomba centrípeta.
- Filtro de aceite.
- Detector de agua (WD).
- Válvula de control de flujo.
- Válvula de control de presión (válvula de la aguja).
- Disco de gravedad.
- Unidad Cuádruple de Válvula Solenoide (GSH-1).

El volumen fundamental de residuales generados procede de los sistemas de centrifugación del combustible. Para la Central, el volumen total de lodos que se generan se estima aproximadamente en 0.1 m³/día por motor.

Producción del lodo en el centrifugado de aceites y tratamiento de combustibles:

El lodo está compuesto fundamentalmente por fuel oíl, aceite lubricante, agua y otras impurezas indeseables para el buen funcionamiento de los motores.

Un proceso normal en el tratamiento del combustible fuel oíl es la producción de lodo. Si el contenido de asfáltenos es elevado, el volumen de lodo se incrementa lo que trae como consecuencia la elevación del índice de consumo ya que se contabiliza como combustible consumido del tanque principal por diferencia del vacío existente.

El proceso de centrifugación del fuel oíl y el aceite lubricante genera lodo producto de su purificación así como la sustracción de agua y partículas metálicas. El centrifugado necesita agua tratada para el proceso de sellado y lavado por lo que su consumo alterado puede dar un índice de alta producción de lodo. La relación de la producción de lodo respecto al consumo de fuel oíl oscila alrededor de 0.7 %, para una producción diaria nunca mayor de 1500 litros. La cuantificación de su influencia en el consumo específico se dificulta porque es una mezcla de lodo y agua, entre otros elementos.

Seguidamente se presenta lo que se extrajo de lodo en la central por ser la salida del proceso lo que interesa en el estudio.

Material	2009	2010	2011	2012 (primer Trimestre)
Lodo (litros)	0,001704432	0,002635989	0,002839076	0

Tabla 3.5: Extracción de lodo en la central Fuel Oíl – Cruces para 1 MW.h. **Fuente:** Elaboración propia.

Descripción de la caldera

La caldera recuperativa es la encargada de suministrar vapor a la estación HFO (combustible) con el fin de calentar el fuel oíl ligero a la temperatura necesaria para su operación normal, especificada por el fabricante

Es una unidad de recuperación de calor sencilla que comprende un generador de vapor. Los elementos en cada sección están formados por tubos de acero aleteados, en posición horizontal. Consiste en 11 paneles de un tubo, tiene 7 pasos de intercambio, el espesor mínimo permisible de los tubos es de 1,5 mm, con soplete. La cubierta tiene puertas de acceso para el mantenimiento y las estructuras se montan fijas. El material de los tubos rectos del 6to y 7mo paso de transferencia de cada serpentín es de STB 340/ss 400 y el de los pasos anteriores y curvas es de STB 340.

La caldera está compuesta por los siguientes equipos y sistemas:

- Tanque de Alimentación T-701
- Bomba de Alimentar P-702 A/B
- Unidad de Control de nivel
- Unidad de Control de Flujo
- Domo V-701
- Bomba de Circulación de agua P-701 A/B
- Unidad de Suministro de Vapor de Soplete
- Unidad de drenaje de Soplete
- Soplete
- Ventilador de Sellaje de Soplete
- Compuerta de desvío de los gases de la chimenea.
- Conducto de gases a la chimenea.
- Tanque de dosificación química T-703
- Radiador condensador A-701
- Válvula reguladora de nivel del tanque de agua caliente.
- Cabezal de Retorno de condensado.
- Deareador T-702.

Instalación de aire comprimido

La unidad de aire comprimido suministra aire comprimido para el correcto funcionamiento de la unidad principal de la central. Esta utiliza dos modelos de compresores: el LT-106 de Alta Presión y el LS-106 de Baja Presión, para el arranque y para el control y regulación. Las Especificaciones de la unidad de aire comprimido se presentan en el (Anexo 11)

Componentes del sistema de aire comprimido.

La unidad de aire comprimido consiste en las unidades siguientes, incluyendo la tubería de aire entre ellos:

- Compresores.

- Tanque Recibidor.
- Válvula reductora y Filtro (Solo para el compresor de baja)
- Interruptores de Presión.
- Panel de Control.

Paneles de control y sistemas de monitoreo

El motor y los equipos auxiliares son operados por un panel de control (contenedor) que está formado por un sistema eléctrico compuesto por:

- Panel Eléctrico (ETU)
- Transformador de salida
- Panel del Sistema de control Remoto y Monitoreo

Panel Eléctrico (ETU)

Dentro del panel eléctrico hay 13 paneles los cuales son:

1. Panel del interruptor de salida VCB
2. Panel del interruptor del generador de la máquina No1
3. Panel del interruptor del generador de la máquina No2
4. Panel del interruptor del generador de la máquina No3
5. Panel del interruptor del generador de la máquina No4
6. Panel VCB auxiliar del transformador de servicio de planta.
7. Panel auxiliar del transformador de servicio de planta (4,16kV/480V 500 kVA)
8. Panel de entrada ACB
9. Panel de distribución.
10. Panel del cargador de la batería
11. Panel de la batería
12. Panel No1 NGR (motores 1 y 2)
13. Panel No2 NGR (motores 3 y 4)

Transformador de salida 13,8 kV

Se instala un transformador por batería.

Datos técnicos

- Capacidad nominal 8,500 kVA
- Trifásico
- Frecuencia nominal 60 Hz
- Voltaje nominal de alta tensión 13,8 kV
- Voltaje nominal de baja tensión 4,16 kV
- Conexión o polaridad YNd11

- Peso total sin aceite 14 t
- Peso total con aceite 17,9 t

Panel del Sistema de control Remoto y Monitoreo

El control remoto y sistema de monitoreo (RCMS) está designado por una seguridad confiable, eficiente, fácil supervisión y operación de la máquina con los equipos auxiliares asociados y sistema eléctrico también. Este sistema está designado por operación de monitoreo centralizado en el control de operaciones con algunas excepciones como la purificadora y unidades auxiliares los cuales están provistos de control remoto centralizado el cual facilita la operación independiente.

Las operaciones principales del sistema de monitoreo se hace a través de la estación de operación que consiste de un monitor RCMS, Mouse y teclado

Alarmas y mediciones de valores importantes se conectarán al RCMS del control de operaciones.

Tratamiento del agua: El agua para el enfriamiento de los equipos de este emplazamiento proviene de la planta de tratamiento químico del agua (PTQA), la cual es necesaria para un enfriamiento eficaz y para evitar la corrosión en los sistemas de trabajo del motor.

Descripción del Tratamiento del Agua.

La P.T.Q.A es una planta de Osmosis Inversa, este es un tratamiento que tiene la facilidad de eliminar (en el sistema de pre-tratamiento) los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua cruda. La membrana con que cuenta la planta de osmosis, fácilmente se ensuciaría con estos sólidos en suspensión si no existiera este sistema de pre-tratamiento.

Para controlar el contenido de estos sólidos suspendidos en el agua cruda se tienen instalados micro filtro y control de PH (con inyección de HCL), facilidades para la inyección de sustancias desincrustantes, el microfiltro es de seguridad y puede filtrar pero no puede tomar todas las incrustaciones especialmente la dureza, antes del filtro se inyectan sustancias químicas desincrustantes, para prevenir las sustancias que provocan dureza.

Las materias iónicas no pasan fácilmente por la membrana de la osmosis inversa, pero el agua pura si pasa fácilmente. Así que le llamaremos a esta membrana, membrana semipasable. La unidad de osmosis usa fácilmente el fenómeno de osmosis Inversa, que consiste en que si aumentamos la presión de osmosis a la membrana, obtendremos agua pura y algunas sustancias concentradas en el agua se rechazaran. En este sistema son implicados dos pasos, para mejorar la calidad del agua de la caldera.

Para prevenir la dureza se agregan al sistema filtros microscópicos y sistemas de inyección de sustancias desincrustantes para aumentar la capacidad de dilución de CaCO_3 o MgCO_3 que ocurren generalmente en la superficie de la membrana. La dureza debe controlarse por medio

de la inyección de Sosa Caótica NaOH. Para eliminar las incrustaciones en la superficie de la membrana se deben utilizar de vez en cuando sustancias químicas para la limpieza, generalmente la limpieza se realiza pasado un periodo de tres meses, para seleccionar la sustancia química de limpieza, cheque primero la composición química de la incrustación, si la incrustación es de materia orgánica, seleccione un limpiador para materia orgánica, la limpieza de la membrana alarga su vida útil.

A continuación la composición química del agua procedente de la planta de tratamiento.

	MO	P	M	Cl	(SO ₄) ₂	SiO ₂	Dt	DCa	DMg	Cond.	pH
	mg/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	μS/cm	
Agua de rechazo	1,47	-	-	3,46	2,81	0,25	11,32	9,91	1,41	1355,2	7,5
Agua tratada	0,007	-	-	0,035	0,023	0,007	0,06	0,05	0,01	49,152	7.0~8.0
Residual ácido	0,74	0	4,74	1,75	1,41	0,13	5,69	4,98	0,71	702,17	3.0~4.0
Residual alcalino	0,74	0	4,74	1,75	1,41	0,13	5,69	4,98	0,71	702,17	10~11

Tabla 3.6: Composición química del agua procedente de la PTQA. **Fuente:** Elaboración propia.

Especificación Técnica.

Condiciones de diseño

1) El caudal de Diseño y la Condición de trabajo (24 horas/ciclos)

Filtro de carbón activado. 1.3 m³/h

Unidad de osmosis inversa. 1.0 m³/h (24 m³/Ciclo).

2) Calidad del flujo de agua.

Parámetro	Unidad de medida	Agua cruda de (calidad de Diseño)	Agua tratada (RO salida)
Dureza Total	meq	5.69	Rastro
Cl	meq	1.75	Debajo de 2 ppm
SO ₄	meq	1.41	Rastro
Solubilidad Evaporación Residuo	mg/L	debajo 500	debajo 5
Turbiedad		debajo 1	Rastro
Conductividad	°C/cm.	debajo 700	debajo 10
pH		7.5	5.0±0.5

Tabla 3.7: Parámetros del agua. **Fuente:** Procedimiento de operación de la generación distribuida.

3) Método de tratamiento.

Pasos que componen el método de tratamiento del agua.

1. filtro mecánico.
2. filtro de carbón activado.
3. Micro filtro
4. Bombas de alta Presión
5. paso de osmosis.

Al final de estos pasos se obtiene agua desmineralizada con un total de sólidos disueltos por debajo de 5 mg/l.

Los datos técnicos de los componentes de la PTQA se encuentran en el (Anexo 12)

3.2.1.2 Descripción del proceso de generación distribuida de energía eléctrica en la central Diesel - Junco Sur.

Las centrales de generación distribuida con diesel se encuentran instaladas en Baterías y están designadas para suministrar corriente eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional, ya sea alimentando a una parte del sistema, o suministrando a toda la red nacional. Las mismas están compuestas principalmente por:

- **Motor de Combustión Interna Diesel**, con sus sistemas de combustible, lubricante, aire de admisión y agua de enfriamiento. El motor Diesel es el equipo encargado de producir energía mecánica.
- **Generador Eléctrico**. El Generador es el que transforma la energía mecánica producida en el motor en energía eléctrica.
- **Estación de Combustible**, Constituye un eslabón muy importante porque de su eficiencia depende en gran medida la eficacia de la generación, además de otras funciones que realiza es la encargada de la limpieza del combustible que va a ser usado por la central.
- **Sistema de Control**. Este sistema es el que se encarga del control automático de todo el proceso en el conjunto Motor – Generador.

La central de generación distribuida Diesel-Junco Sur cuenta con dos baterías de ocho motores MTU de la serie 4000 cada una, las que presentan las siguientes características:

Datos técnicos del Motor Diesel

Los motores de la serie 4000 (Anexo 13) son compactos, potentes, fiables y extraordinariamente rentables.

Su sistema de inyección Common-Rail reúne un aprovechamiento óptimo del combustible con el cumplimiento de todas las prescripciones medioambientales.

- Denominación del motor 16V4000 G81,

- Marca	MTU, Alemania.
- Número de cilindros	16
- Temperatura del aire de aspiración.	25°C
- Temperatura del líquido refrigerante del aire de carga	55°C
- Presión barométrica	1000 mbar
- Número de revoluciones nominal del motor	1800 rpm
- Potencia continua, con sobrecarga de un 10 % de la potencia de diseño	1990 kW
- Consumo de Lubricantes	0.5% del consumo de combustible por hora.

Condiciones límite (para la potencia máxima)

- Depresión de aspiración (filtro nuevo)	30 mbar
- Depresión de aspiración	máx... 50 mbar
- Sobrepresión de escape	30 mbar
- Sobrepresión de escape	máx 51 mbar

Datos referidos al tipo de motor según su construcción.

- Motor con turbo con sobrealimentación por gases de escape y refrigeración del aire de carga.
- Con conductos de escape no refrigerados.
- Ciclo de trabajo de 4 tiempos, diesel, de simple efecto, con inyección directa.
- Refrigerante agua tratada.
- El sentido de giro (visto sobre el lado de accionamiento) a la izquierda
- Número de cilindros 16
- Disposición de los cilindros: ángulo en V a 90°
- Diámetro 165 mm
- Carrera 190 mm
- Cilindrada unitaria 4.06 litros
- Cilindrada total 65.0 litros
- Relación de compresión 15.5
- Culatas: culatas individuales
- Camisas de cilindro: húmedas, recambiables
- Número de válvulas de admisión por cilindro 2
- Número de válvulas de escape por cilindro 2
- Presión del aire de carga antes del cilindro 3.2 bar abs

Sistema de líquido refrigerante del circuito de alta temperatura.

- Temperatura del líquido refrigerante (En la conexión del motor: salida al equipo de refrigeración 95°C.
- Temperatura del líquido refrigerante después del motor, advertencia es un valor de 97°C
- Temperatura del líquido refrigerante después del motor es de 99°C
- Porcentaje de anticongelante en líquido refrigerante máx es del 50%.
- Pérdida de presión en el sistema externo de refrigeración del motor máx de 0.7 bar.

Sistema de líquido refrigerante en el circuito de baja temperatura.

- Temperatura del líquido refrigerante antes del refrigerador de aire de carga (en la conexión del motor: entrada del equipo de refrigeración) 55°C
- Porcentaje de anticongelante en líquido refrigerante máx. - 50%
- Pérdida de presión en el sistema externo de refrigeración del motor máx. 0.7 bar

Sistema de aceite lubricante

- Temperatura de servicio del aceite lubricante antes del motor, un valor de referencia. 85°C
- Presión de servicio del aceite lubricante antes del motor, es un valor de referencia 5.0 bar
- Presión de servicio del aceite lubricante antes del motor, es un valor de referencia 6.0 bar
- Presión del aceite lubricante antes del motor, es un valor de referencia 4.5 bar
- Presión límite del aceite lubricante antes del motor 4.0 bar

Sistema de Combustible.

- Presión de combustible en el empalme de admisión del motor, límite mínimo. (durante el arranque del motor) - 0.1 bar
- Presión de combustible en el empalme de admisión del motor, límite máximo (durante el arranque del motor) 1.5 bar

Capacidades

- Líquido refrigerante del motor, zona motor (sin equipo de refrigeración), es un valor de referencia 175 litros
- Líquido refrigerante del aire de carga, zona motor, es un valor de referencia 40 litros
- Aceite total del motor, en la primera carga (sistema de aceite estándar), es un valor de referencia 290 litros
- Capacidad del cárter de aceite, marca mínima por la sonda de nivel (sistema estándar de aceite) 160 litros
- Capacidad del cárter de aceite, marca máxima por la sonda de nivel (sistema estándar de aceite) 230 litros
- Capacidad del tanque de combustible de uso diario 2000 litros

Sistema de inyección:

- Common-Rail controlado electrónicamente.
- Turbo compresión por gases de escape con refrigeración del aire de sobrealimentación.
- Sistema de refrigeración de doble circuito, con refrigeración por agua del aire de sobrealimentación.
- Refrigeración de los pistones
- Motor de arranque eléctrico
- Apoyos del motor elásticos.

Peso del Motor: El peso del motor, es un valor de referencia de 6950 kg

Ruido del Motor: Los ruidos de escape no atenuados, tienen un valor de referencia a potencia continua de 129 db.

A continuación las emisiones producidas por la central Diesel-Junco Sur que se pudieron cuantificar.

.

Año	CO ₂	SO _x
	kg	kg
2009	12,5201954	0,16302337
2010	13,44634	0,17508256
2011	0,15786071	3,15721423

Tabla 3.8: Emisiones a la atmosfera para 1MW.h generado en la central Diesel-Junco Sur.

Fuente: Elaboración propia

Generador Eléctrico.:

Un alternador o generador sincrónico es una máquina eléctrica giratoria diseñada para convertir la energía mecánica rotatoria en energía eléctrica de corriente alterna (CA).

Principio de funcionamiento del generador sincrónico.

El principio de funcionamiento del generador sincrónico se basa en la inducción electromagnética el cual plantea, que si se hace mover un conductor en un campo magnético de manera tal que este corte las líneas de flujo, en el mismo se inducirá una fuerza electro magnética (FEM). De igual manera ocurriría si el conductor se encuentra fijo y se mueve un campo magnético sobre él.

Partes fundamentales del generador sincrónico

- Devanado inducido o Estator.

El devanado del inducido se encuentra ubicado en el cuerpo o casco de la máquina, distribuido en las ranuras del material ferromagnético.

- Devanado inductor o Rotor.

El devanado del inductor se encuentra ubicado en el rotor de la máquina, formando polos magnéticos.

- La Excitatriz.

Está compuesta por el estator de la excitatriz que se encuentra ubicado en la carcasa de la máquina y el rotor de la excitatriz se ubica sobre el eje o rotor.

- Los Cojinetes.

Son los apoyos del rotor en la parte fija o estator.

Accesorios del generador

- Regulador automático de voltaje.

El regulador automático de voltaje (AVR) realiza la función de estabilización del voltaje, durante el régimen de funcionamiento en vacío a plena carga y durante la ocurrencia de cortocircuitos. Además, permite la acción sobre él, para la regulación del voltaje durante la operación de sincronización.

- Transformador de Corriente.

Son usados para la medición de las corrientes de la carga durante el funcionamiento de la central, para la visualización de los parámetros de trabajo y la acción de las protecciones, control de los datos y el estado de la central.

- Transformador de Tensión o de Potencial.

Son usados para la medición de los voltajes de trabajo durante el funcionamiento del grupo electrógeno, para la visualización de los parámetros de trabajo y el control de los datos y el estado de la central.

- Ventilador.

Su función es la de mantener una temperatura de trabajo adecuada para el funcionamiento correcto de la central.

Datos técnicos del Generador

- Tipo MJB 500 MB 4, marca Marrelli de fabricación Italiana.
- Generador sincrónico trifásico.
- Cantidad de polos 4 polos
- Temperatura ambiente 40°C
- Factor de potencia 0.8
- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje 480 V

- Potencia 2360 kVA
- Eficiencia 96.1 %

Componentes de la Estación de Combustible

Área de almacenamiento y recepción de combustible: que en el caso que estamos desarrollando está compuesta por 7 tanques de recepción que tienen las siguientes características:

- Los tanques de recepción de combustible están situados a 2.00 metros del nivel del piso sobre dos apoyos, su capacidad es de 100 m³ cada uno y con una inclinación de 5° (para facilitar las extracciones de H₂O y partículas sólidas del combustible)
- Lleva a su alrededor un cubeto que le sirve de recinto de contención al combustible que se pueda derramar. Este cubeto debe soportar tanto la totalidad del combustible, como la presión de empuje de este.
- La línea de entrada de combustible a presión desde la bomba de recepción es de 4" y está ubicada en la parte superior, con una válvula a la entrada de 4".
- Lleva un registro de hombre estándar en su parte superior, para realizar inspección cuando sea necesario.
- En la parte superior lleva un venteo a la atmósfera para extraer los gases que existan dentro y garantizar la salida por gravedad del combustible.
- Tiene en su parte inferior un drenaje de 2" con una válvula Dn 50 para realizar extracciones de fondo del líquido, que se envían al Tanque oleaginoso. Este drenaje está situado en la parte más baja del tanque.
- Por la parte superior se puede obtener el nivel del combustible con una vara graduada en cm.
- La línea de salida de combustible es a un cabezal de 2" con válvula Dn 50 con brida del cual va a la succión de las centrífugas por gravedad a través de una válvula común. Esta salida es por debajo y por la parte más elevada del tanque.
- El cubeto tiene en el fondo un Pozo Colector de drenaje por debajo del nivel del piso del cubeto de donde se puede extraer tanto combustible como aguas pluviales.

El combustible se envía al tanque oleaginoso y de allí a los tanques de recepción con la bomba de lodo de 2 m³.

Área de recepción: consta de dos racores que están acoplados a dos válvulas las cuales permiten el paso del combustible. A estos racores de 3" se acopla la paila de combustible del suministrador. Además consta de dos bombas de recepción (una de reserva).

- Las bombas de 60 m³/h son las encargadas de suministrar el combustible, que traen las pailas de suministro de combustible, a una presión de 2.5 bar a los tanques de recepción.

Área de filtros de recepción: Consta de dos filtros MECH 20, de los cuales trabaja uno y el otro está de reserva.

Área de centrifugado: consta de dos separadores centrífugos (uno de reserva) que trabajan con el principio de separación de dos bandas líquidas y otras más pesadas, de marca Pieralisi y de procedencia italiana.

Tanque de operación: Cuenta con dos de estos y son iguales a los de recepción, de 100 m³ sobre 2 apoyos a dos metros del nivel de piso. También presenta una inclinación de 5° y la tubería de salida es por la parte más elevada. La tubería de salida es de 3" y está ubicada en el fondo del tanque.

Tanque oleaginoso: Recolecta el combustible extraído de la centrífuga y de los drenajes de todo el sistema para luego a través de una bomba reintegrarlo al sistema de almacenamiento.

Bomba de Lodo: Esta bomba es de 2 m³/h con desplazamiento positivo de tornillo y su función es bombear el combustible que se derrame en el cubeto de los tanques de recepción y de operación, en las centrífugas, en los drenajes y en el aparcadero de las pailas.

Válvulas y tuberías: Cuenta con una serie de válvulas y tuberías que permiten la circulación de los fluidos en la central

Año	Diesel (litro)	Líquido Refrigerante	Aceite Motor Extradiesel
2009	3,0021991	0,00125274	0,010428
2010	3,20026423	0,00134649	0,01542404
2011	2,68286785	0,06914667	0,8598671
1er trim 2012	0,7719987	0,0006388	0,00316099

Tabla 3.9: Consumos más significativos en la central Diesel-Junco Sur para 1MW.h **Fuente:** Elaboración propia.

Contenedor de Media Tensión (Sistema de Control).

A diferencia de los grupos electrógenos aislados, las baterías MTU que constan con múltiples de 8 unidades de generación y poseen a demás un contenedor llamado de Media Tensión.

El contenedor de media tensión tiene 12192 mm de largo, 2430 mm de ancho y 2591 de alto y se representa en la figura siguiente:

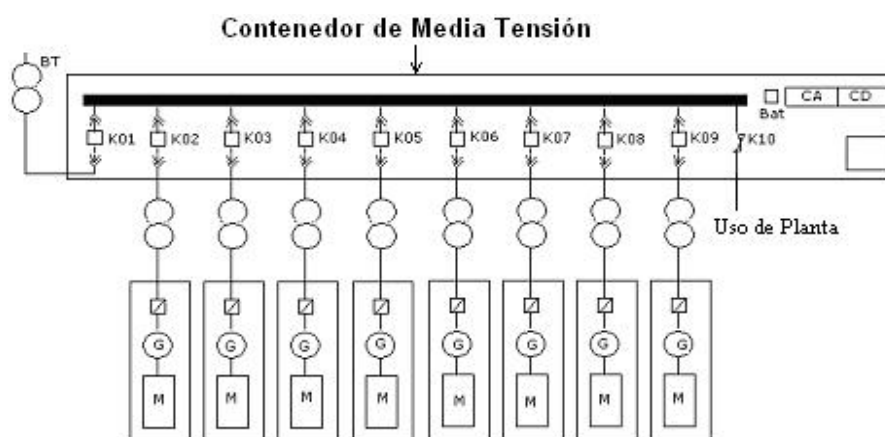


Figura 3.1 Diagrama del esquema eléctrico del Contenedor de Media Tensión **Fuente** Empresa Eléctrica

Composición del contenedor de media tensión

- 10 Celdas similares de 13.8 kV, rotuladas desde K01 hasta K10 ver (Anexo 14).
- Sistema trifásico de barras que corren por la parte posterior de las celdas sin peligro de contacto eléctrico para el personal de operaciones.
- Panel de corriente directa (CD). Ver (Anexo 15)
- Panel de corriente alterna (CA). Ver (Anexo 15)
- Puesto de trabajo del operador con una computadora con el EROS (Software SCADA).
- Batería portátil para el cierre por emergencia de los interruptores.
- Salida en forma de persiana para la sobrepresión.
- Conducto de evacuación de gases encima de las celdas.
- Dos equipos de climatización.

Celdas K02 a la K09:

Dentro de cada celda se encuentran:

- Módulo multimecánico para las funciones de movimiento, enclavamiento, bloqueo mecánico y adaptación mecánica a interruptores de diferentes fabricantes.
- Tres transformadores de corriente.
- Tres transformadores de potencial.

Módulo extraíble con el interruptor.

Celda K01: Es la celda donde se encuentra el interruptor totalizador. Posee de igual forma una puerta superior y una inferior como las anteriores pero se diferencia de ellas en que en la puerta superior tiene:

- Protección diferencial del transformador totalizador (TB) de 20 MVA.
- Panel de control local (AGC).
- Llave de modo de operación (Paralelo o ISLA).

- Botón de prioridad.

Celda K10: La celda K10 es para la alimentación del Uso de Planta.

Paneles de CA y CD (Anexo 15)

El panel de CA distribuye el uso de planta a todos los consumidores a 480 V.

El panel de CD garantiza la alimentación de corriente directa a los equipos que la necesitan, fundamentalmente voltaje de control.

Batería portátil La batería portátil se utiliza para el cierre de emergencia de los interruptores en caso de que no exista tensión de control. Esta batería debe estar continuamente en régimen de carga permanente. (Anexo 16)

3.2.2 Construcción de los diagramas de procesos.

Con la información recopilada anteriormente se elabora el inventario de la generación distribuida de energía eléctrica con el empleo de fuel oil y diesel, en los (Anexos 17 y 18) se muestran las materias primas esenciales para la producción de la electricidad y el resultado de este proceso en las centrales Fuel Oil-Cruces y Diesel-Junco Sur. Todas estas entradas y salidas complementan el ACV.

La descripción de las operaciones que se llevan a cabo en cada proceso estudiado sirve de base para crear el diagrama de flujo básico con funciones cruzadas del proceso de generación de energía eléctrica en la central eléctrica fuel oil-Cruces mostrado en el (Anexo 19) y la central eléctrica diesel-Junco Sur en el (Anexo 20). La representación gráfica de los sistemas estudiados, sistema que fueron la base de los datos obtenidos para el análisis del Ciclo de Vida de la generación distribuida de energía eléctrica, ayuda a comprender, enmarcar, delimitar e interrelacionar cada proceso dándonos una visión más clara y una mayor organización a la hora de enfrentar el análisis.

3.2.3 Procesamiento de los datos obtenidos.

Con todos los datos obtenidos de los diferentes sistemas de análisis y para dar cumplimiento a los objetivos propuestos son incluidos estos en la herramienta de procesamiento de la información Open LCA de la cual podrán ser obtenidos los impactos medioambientales y el perfil ambiental de la generación distribuida con fuel oil y diesel. Para cada una de las categorías se realiza un análisis de incertidumbre con el método de simulación de Montecarlo, donde se calcula los límites de confianza para cada uno de estos impactos (Anexo 21 y 22).

3.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto.

Para evaluar el Ciclo de Vida de la generación distribuida de energía eléctrica se procesa la información recopilada en el software con la base de datos Eco-Speed desarrollada para

nuestras condiciones ambientales, usando categorías de análisis de datos de alto impacto sobre la salud humana, el agua, los minerales y los recursos energéticos propios del país y tomando como productos en su base de datos las sustancias, aditivos, compuestos químicos, emisiones y vertimientos más notorios evaluados y validados para Cuba, dando además, prioridades de evaluación en función de llevar al país hacia un desarrollo sostenible, es capaz de brindar un análisis de mayor actualidad y más cercano a nuestras condiciones de explotación de los recursos naturales y los productos así como llevarnos a poder evaluar los principales impactos que el país produce sobre los ecosistemas, de ahí que las categorías de impacto mostrados por él se toman como significativas dándole a este método todo el potencial que posee para el Análisis de los Ciclos de Vida dentro del contexto nacional de cualquier proceso (producto) y, por tanto, que sea el seleccionado para realizar nuestra evaluación de (ACV) en la generación distribuida de energía eléctrica.

Central eléctrica Fuel Oíl – Cruces.

Los resultados obtenidos para 1MW.h de electricidad generado en la central eléctrica Fuel Oíl – Cruces se aprecian a continuación

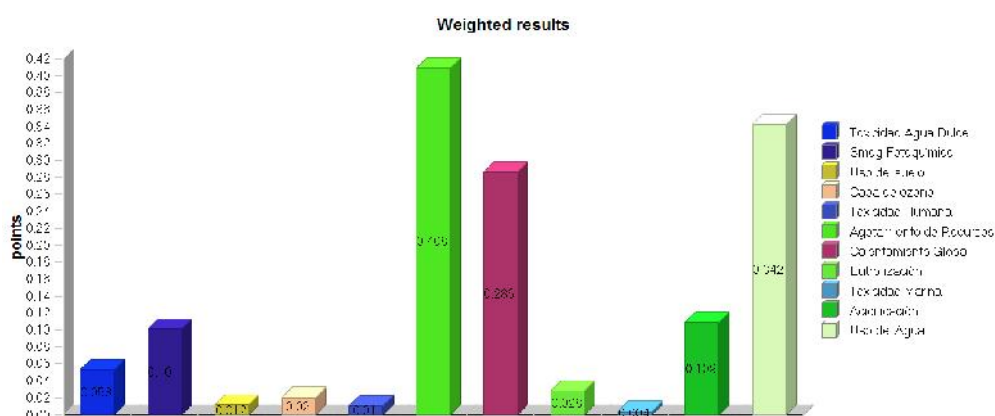


Figura 3.2: Análisis de impacto en la generación distribuida de energía eléctrica en la central Fuel Oíl-Cruces. Método Eco-Speed. **Fuente:** Open LCA.

El agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global son las categorías que representan las barras predominantes, a continuación en el Diagrama de Pareto se representa la distribución porcentual de los impactos más significativos en el análisis del Ciclo de Vida de la generación distribuida de energía eléctrica en dicha central.

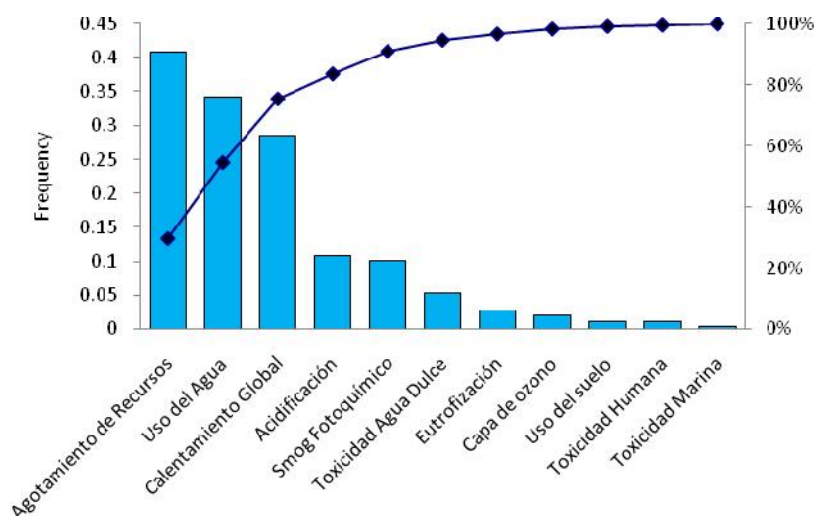


Figura 3.3: Impactos de la generación distribuida de energía eléctrica (Central Fuel Oil-Cruces). **Fuente:** Elaboración Propia.

El agotamiento de los recursos y el uso del agua se presentan como factores predominantes por el empleo de los combustibles y aceites, ya que para la obtención de estos se explotan gran cantidad de componentes y como se ha mencionado anteriormente este estudio abarca el Ciclo de Vida de todos los elementos involucrados. El calentamiento global esta dado por las emisiones que se provoca no solo en la central sino también en la producción de los elementos que ella utiliza.

Central eléctrica Diesel – Junco Sur.

Para la central distribuida Diesel–Junco Sur a continuación se reflejan los resultados obtenidos en cuanto al impacto ambiental para la generación de 1MW.h de electricidad.

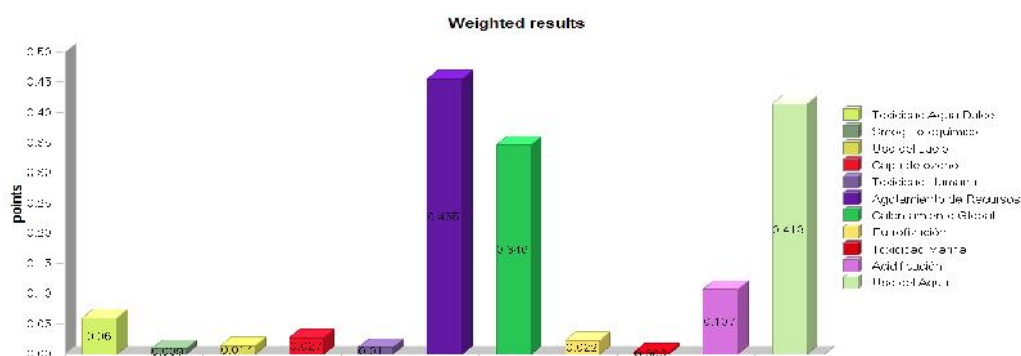


Figura 3.4 Análisis de impacto en la generación distribuida de energía eléctrica en la central Diesel – Junco Sur. Método Eco-Speed. **Fuente:** Open LCA.

Como se percibe el resultado de los impactos en la central Diesel – Junco Sur es muy parecido al de la central Fuel Oil – Cruces, igualmente a continuación se representa el Diagrama de Pareto con los porcentajes para cada una de las categorías.

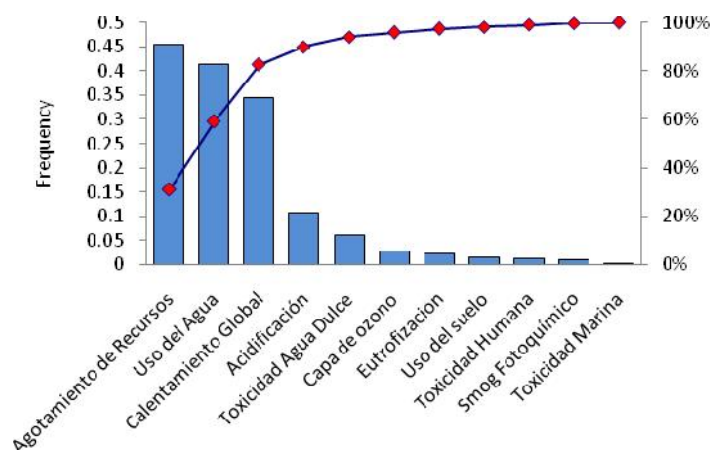


Figura 3.5: Impactos de la generación distribuida de energía eléctrica (Central Diesel – Junco Sur). **Fuente:** Elaboración propia.

En la Central eléctrica diesel-Junco Sur se evidencian como relevantes las mismas categorías que en la Central eléctrica fuel oil-Cruces lo que en esta, las cantidades son un poco superior. Se puede apreciar como el agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global acumulan el 82,74% de los impactos generados en la central.

Comparación de la generación distribuida de energía eléctrica utilizando fuel oil y diesel con la producción de electricidad en la termoeléctrica Carlos M Céspedes para 1 MW.h generado.

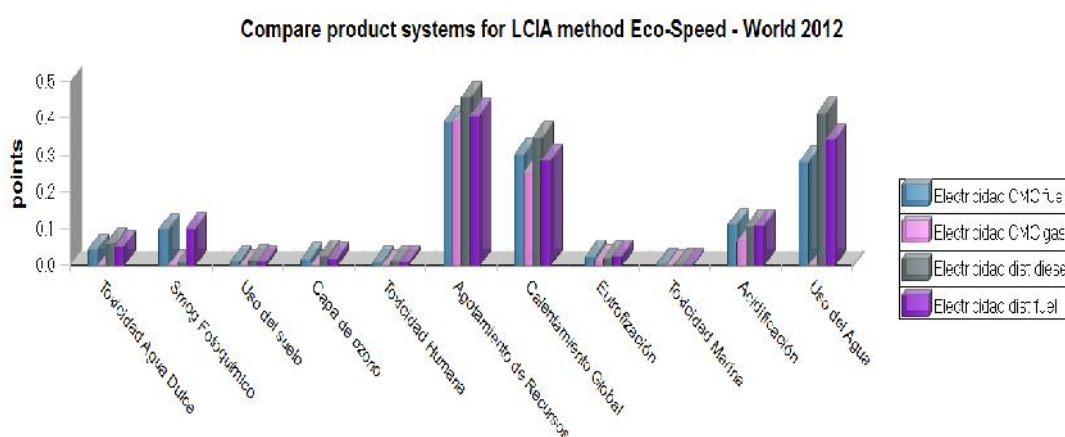


Figura 3.6: Comparación de los Impactos ambientales de diferentes formas de generar electricidad. Método Eco-Speed. **Fuente:** Open LCA.

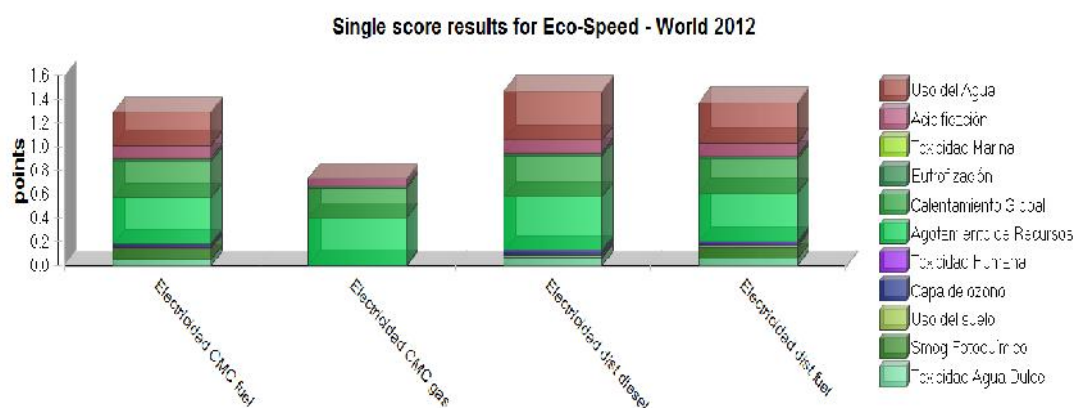


Figura 3.7: Comparación de la puntuación general de los procesos de generación eléctrica. . Método Eco-Speed. **Fuente:** Open LCA.

Al realizarse la comparación de diferentes formas de generar electricidad (generación distribuida con diesel, generación distribuida con fuel oil, generación con fuel oil en termoeléctrica y generación con gas en termoeléctrica) para 1MW.h se evidencia que el empleo de centrales eléctricas distribuidas, causan mayor impacto que la generación de electricidad en termoeléctricas. Se aprecia además que la generación distribuida con diesel es la barra más alta en la puntuación general, lo cual está dado por ser el diesel el que mayor impacto provee al Medio Ambiente, ya que su elaboración requiere de un proceso más complicado que los demás combustibles, lo que genera mayores impactos.

A continuación el gráfico representa el rango de variación de las categorías más relevantes que te da una idea de cuánto puede variar la puntuación única en dependencia de la variación de las categorías de impacto.

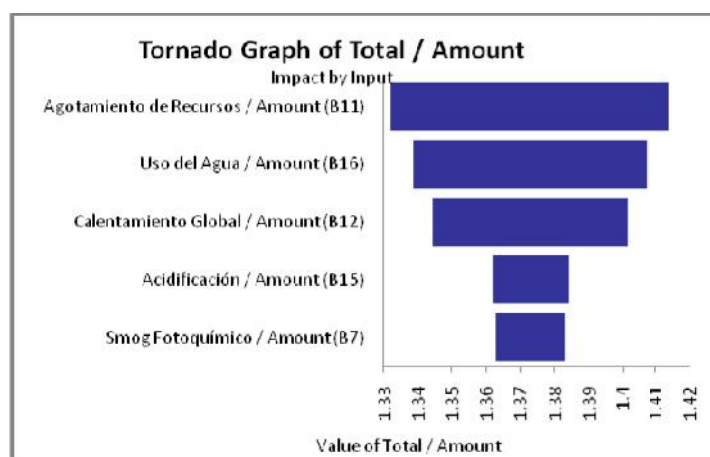


Figura 3.8: Grafico de tornado para las categorías de impacto de la central Fuel Oil-Cruces. **Fuente:** Elaboración propia.

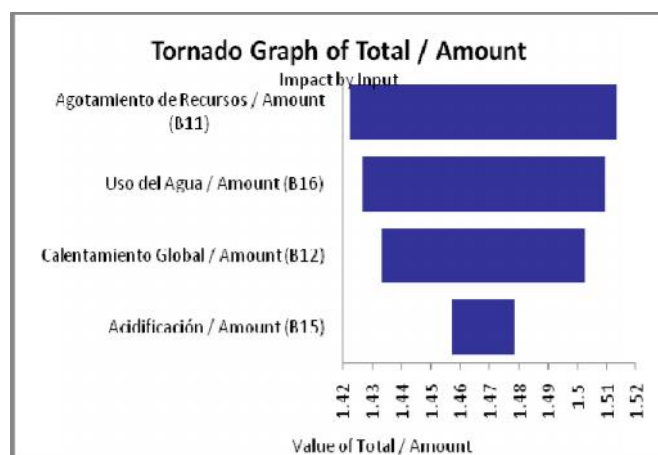


Figura 3.9: Grafico de tornado para las categorías de impacto de la central Diesel-Junco Sur.
Fuente: Elaboración propia.

En este otro gráfico se muestra la magnitud que implica en la puntuación total la variación de las categorías más importantes.

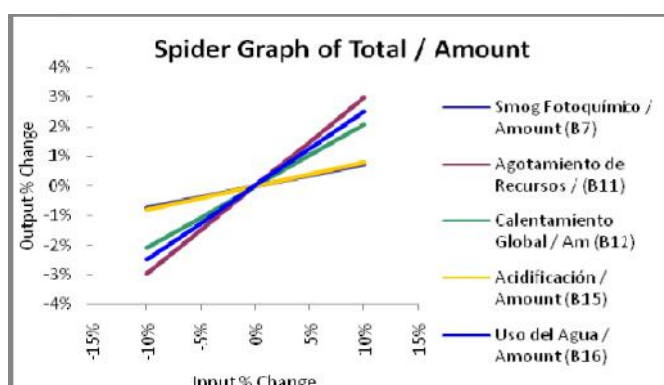


Figura 3.10: Grafico de araña para las categorías de impacto de la central Fuel Oíl-Cruces.
Fuente: Elaboración propia.

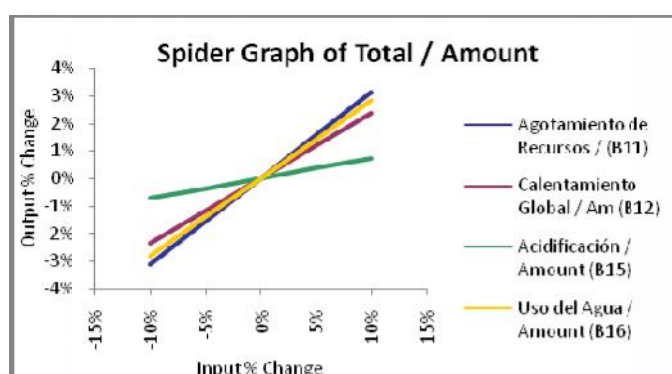


Figura 3.11: Grafico de araña para las categorías de impacto de la central Diesel-Junco Sur
Fuente: Elaboración propia.

Todos estos gráficos anteriores indican que tanto en una central como en otra para lograr un resultado visible en la puntuación única se tienen que disminuir las categorías de impacto más significativas al menos en un 3% aproximadamente, para obtener un 1% de disminución en la puntuación general; y en la categoría de acidificación en un 10%, aunque con esta última no se logra un gran avance en la puntuación general

3.4 Etapa 4: Análisis de mejoras.

Al analizarse los impactos se deduce que la minimización de los mismos están en función de reducir los consumos, sobre todo de combustibles, para ello se proponen una serie de medidas que están en estudio:

- Cambio de posición de los filtros de aspiración hacia la parte exterior del contenedor (MTU S-4000).
- Utilización de aditivos para el combustible (Hyundai).
- Instalación de filtros centrífugos de aceites (Hyundai)
- Instalación de magnetizadores DIMAG en el sistema de agua tecnológica de las centrales (Hyundai).
- Instalación de magnetizadores DIMAG en motores diesel de la generación distribuida (MTU S-4000).
- Instalación de magnetizadores DIMAG en Sistema de Combustible Motores (Hyundai).
- Cambio de la posición de los escapes en los motores generadores (MTU S-4000).

Explicación de las acciones de mejora.

Filtros de aspiración en la parte superior del contenedor

La modificación consiste en sacar los filtros de aspiración hacia la parte exterior del contenedor para lograr que el aire de aspiración sea más fresco al tener en la parte exterior la presión atmosférica que es superior a la presión dentro del contenedor por el vacío que se crea en el producto de los ventiladores y la aspiración del motor.

Al realizarse el estudio resultado se logró una disminución del **Consumo Específico de Combustible de 2,7 g/kW**. Las temperaturas de gases de escape antes y después de los turbos tienen alguna disminución pero no se observa una correspondencia en todos los turbos motivado fundamentalmente por el método de medición utilizado que no tiene la precisión necesaria para la correcta evaluación.

A continuación imágenes de la incorporación de los filtros de aspiración.



Figura 3.12: Filtros de aspiración incorporados a los contenedores. Fuente: Dirección Provincial de Generación.

Aditivos para el combustible.

El objetivo de los aditivos es tener una combustión óptima contaminando lo menos posible.

En la cámara de combustión.

- Incrementa la temperatura de la cámara y disminuye la emisión de cenizas.
- Reduce el exceso de aire requerido, aumenta la eficiencia.
- La reducción en el exceso de aire inhibe directamente la formación de SO_3 y NO_x .
- En presencia de MgO hay un secuestro de Vanadio, inhibiéndose la reacción $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3$.

En las escorias.

- Cuando se aplica Oxido de Magnesio al fuel oil se forman compuestos complejos $\text{V}_2\text{O}_5\text{-MgO}$ que tienen un punto de fusión mayor que la temperatura de la flama, por lo que viajan por la cámara de combustión como sólidos y al pegar en las superficies metálicas forman cúmulos de cenizas friables fáciles de remover y que no causan corrosión.
- Los depósitos formados son sólidos friables y no corrosivos.

En la emisión de contaminantes.

- Disminuye la formación de ceniza: El uso de los catalizadores baja el punto de ignición del Carbono de 353° a 315° lo que hace que la gota se consuma casi completamente y quede poco o nada el carbón sin quemar(ceniza).
- Al inhibir la reacción $\text{SO}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ reduce la formación de H_2SO_4 . La inyección de aditivos con Oxido de Magnesio disminuye la formación de SO_3 y aumenta el pH de las cenizas hasta en una unidad de pH.
- Mejora eficiencia combustión por catálisis.
- La inyección de aditivos con Oxido de Magnesio disminuye la formación de SO_3 y aumenta el pH de las cenizas hasta en una unidad de pH.



Figura 3.13: Comparación de las incrustaciones en las paredes del condensador sin aditivo (izquierda) y con aditivo (derecha). **Fuente:** Dirección Provincial de Generación.

Filtros centrífugos de aceites

Con el propósito de evaluar la efectividad de los filtros en el comportamiento del aceite en el tiempo se realiza un estudio independiente para cada motor del emplazamiento objeto de estudio, tomándose la primera muestra y análisis a las 350 horas de trabajo del aceite, y luego cada 50 horas de trabajo.

A partir de los resultados obtenidos se observa que las características físico químicas del aceite se mantienen dentro de los valores normados por lo que es posible extender el cambio de aceite a las 750 horas de trabajo en las unidades con filtro centrífugo.

La calidad del aceite de las unidades que no tienen filtro centrífugo luego de 350 horas de trabajo es inferior a la del aceite de las unidades que si lo tienen con más de 750 horas de trabajo, con Índice de Relleno similares, particularizando en los parámetros de viscosidad 100°C e Insolubles en Pentano.

A continuación la valoración económica para la inversión de los filtros de centrifugado de aceite.

COSTO CAMBIO DE ACEITE								
DESCRIPCIÓN	U	CANT X UNIDAD	CANT CAMBIOS	CANT TOTAL	PRECIO UNITARIO		IMPORTE	
					MN	USD	MN	CUC
Aceite	L	290	1	290	-	2,56	-	742,4
Filtro	u	4	1	4	2,8	16,54	11,2	66,16
TOTAL							11,2	808,56
COSTO DE INVERSIÓN FILTRO CENTRIFUGO								
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	PRECIO UNITARIO		IMPORTE			
			MN	USD	MN	CUC		
Filtros Centrífugos	u	1	-	2213,22	-	2213,22		
TOTAL					0	2213,22		
RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN					Horas Operación	Años a 2h diaria		
Cantidad de Cambios que Amortizan la Inversión				2,7				
Cambio aceite cada 750 h				2,7	2053	2,8		
Cambio aceite cada 1000 h				1,4	1369	1,9		

Figura 3.14: Evaluación económica de los filtros centrífugos de aceite. **Fuente:** Dirección Provincial de Generación.

Magnetizadores

La función de estos en los sistemas de combustibles o motores se debe a la optimización de la mezcla del proceso de combustión como resultado del reordenamiento de las moléculas del combustible, la reducción de fricción en las superficies de lubricación dinámica y la mejora en el sistema de filtrado con reducción de partículas de fierro y otros metales presentes en el combustible y aceite lubricante a un tamaño de una micra, lo que posibilita una combustión más completa y una disminución del consumo de combustible y de la carga de contaminantes que se expulsan a la atmósfera.

Estudios indican mejoras en los indicadores de gramos consumidos por kW generado de hasta 4 unidades.

A continuación los magnetizadores que se utilizan para los MTU serie 4000.

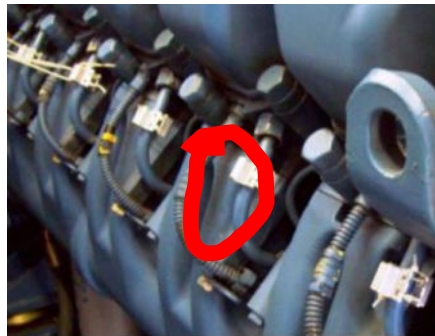


Figura 3.15: Magnetizadores DIMAG en motores diesel a la entrada de los inyectores. **Fuente:** Dirección Provincial de Generación.



Figura 3.16: Magnetizadores DIMAG en motores diesel a la salida de la bomba de combustible. **Fuente:** Dirección Provincial de Generación.

En la tecnología Hyundai se ubican magnetizadores para el sistema de combustible motores en la:

- Entrada de combustible al motor: Se utilizan dos magnetizadores completos. Uno en posición vertical y el otro en posición horizontal como se muestra en la figura 3.16.

- Salida bombas alta presión: Se utilizan dos magnetizadores completos en cada salida, para un total de 18 magnetizadores. Alternando la posición alrededor de la tubería.
- Tubería de suministro de combustible a las bombas: Se utiliza un magnetizador completo en cada tramo de la tubería a partir de la segunda bomba, para un total de 8 magnetizadores.



Figura 3.17: Magnetizadores DIMAG en sistema de combustible Hyundai a la entrada del combustible al motor. **Fuente:** Dirección Provincial de Generación.

Los magnetizadores se utilizan también en el sistema de agua tecnológica de las centrales Hyundai porque ellos activan y polarizan las moléculas de agua, produciendo una fuerte interacción con las especies iónicas presentes. Dicha interacción es más fuerte que las de estas especies con las superficies metálicas modificadas (superficies internas de tuberías de intercambiadores de calor, calderas, calefactores de agua, etc.) evitando con ello la formación sobre dichas superficies de cristales de calcita (carbonato de calcio) y propiciando la formación en el seno del agua de cristales finos de aragonita (otra forma cristalina del carbonato de calcio) los cuales quedan en suspensión y pueden ser retirados con facilidad posteriormente por sedimentación (calefactores de agua) o retirados por purga (calderas de vapor). Son colocados en:

- Entrada de agua al filtro de arena: Se utilizan tres mitades de magnetizador para cubrir el perímetro de la tubería, figura 3.18.
- Salida bombas alta presión-Entrada primer paso de membranas: Se utilizan dos magnetizadores completos, colocados alternadamente a la distancia de un magnetizador.
- Entrada al segundo paso de membranas: Se utilizan tres mitades de magnetizador para cubrir el perímetro de la tubería.
- Entrada al tercer paso de membranas: Se utilizan tres mitades de magnetizador para cubrir el perímetro de la tubería.

- Entrada de agua a caldera: Se utilizan seis mitades de magnetizador para cubrir el perímetro de la tubería, colocados alternadamente tres y tres a la distancia de un magnetizador.
- Entrada de agua al domo. Se utilizan dos magnetizadores completos, colocados alternadamente a la distancia de un magnetizador.
- Reposición de agua tratada al tanque de alimentar. Se utiliza un magnetizador.
- Entrada de agua de enfriamiento al motor: Se utilizan seis mitades de magnetizador para cubrir el perímetro de la tubería.



Figura 3.18: Magnetizadores DIMAG en sistema de agua tecnológica de la tecnología Hyundai.

Fuente: Dirección Provincial de Generación.

Escapes de los motores-generadores

Los escapes de los motores-generadores en la central Diesel-Junco Sur se encuentran en sentido horizontal, lo que provoca que los gases que expulsan estos vayan hacia delante y una parte de estos se concentren abajo antes de dispersarse y otra parte sean atraídos otra vez hacia el contenedor por los ventiladores ubicados en la parte de posterior de estos.

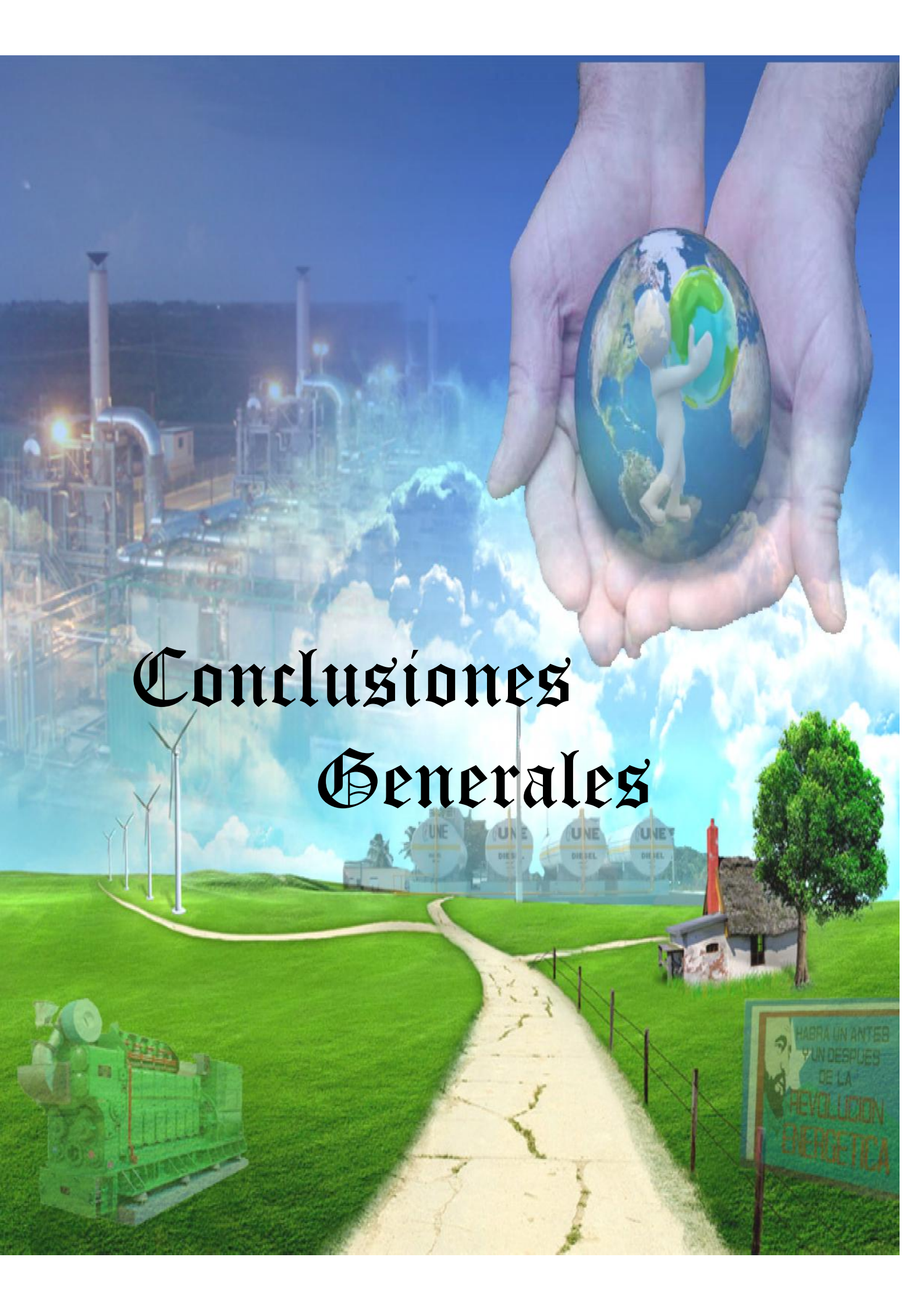
Se propone el cambio de estos escapes en sentido vertical para que los gases cojan altura y no se acumulen en una zona baja donde afectan a los trabajadores de la instalación, a los habitantes del lugar y al funcionamiento de la misma central.

No se tiene contabilizado la magnitud de esta mejora, pero por muy poco que represente es un logro para la eficiencia de la central.

Todas estas medidas anteriores influyen en el mejor y más eficiente uso de las centrales, unas en mayor medida que las otras pero todas aportan su atribución en la disminución de combustibles y de gases al Medio Ambiente por ser las centrales un sistema que funciona como un todo.

Conclusiones Parciales

1. Se definen los objetivos para evaluar y cuantificar los impactos ambientales del Ciclo de Vida de la generación distribuida de energía eléctrica así como el alcance y los límites geográficos y temporales de la investigación.
2. La descripción cualitativa y cuantitativamente de los procesos de generación distribuida de energía eléctrica en Fuel Oíl-Cruces y Diesel Junco-Sur, permite la representación de los diagramas de proceso y la conformación del inventario del ACV de la investigación.
3. La evaluación del impacto de la generación distribuida de energía eléctrica con el empleo del software Open LCA y el método Eco-Speed muestran que las categorías más afectadas son el agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global.
4. Se determinan las propuestas de mejoras para reducir los impactos provocados por las centrales eléctricas de fuel oíl y de diesel.
5. Queda detallada cada una de las mejoras a implementar para la reducción de los consumos de los recursos y de las emisiones.



Conclusiones Generales

HABRA UN ANTES
Y UN DESPUES
DE LA
REVOLUCION
ENERGETICA

Conclusiones Generales

1. Se define la metodología propuesta en las normas ISO 14 040 y se emplea el software Open LCA con el método Eco-Speed para evaluar los impactos generados con la generación distribuida de energía eléctrica.
2. Se describen los procesos de generación distribuida de energía eléctrica en las centrales: Fuel Oíl-Cruces y Diesel Junco-Sur, lo que permite la caracterización detallada del caso de estudio y la conformación del inventario de ACV de la investigación.
3. Se evalúa el impacto de la generación distribuida de energía eléctrica con el método Eco-Speed; apoyado con el análisis de incertidumbre según el método de Montecarlo, en el cual las categorías más afectadas son el agotamiento de los recursos, el uso del agua y el calentamiento global.
4. Al realizarse la comparación de los perfiles ambientales de la generación distribuida con fuel oíl y diesel con los de la generación convencional de la termoeléctrica Carlos M Céspedes para 1MW.h generado resulta de mayor impacto la generación de electricidad en las centrales distribuidas.
5. Se realizan las propuestas de mejoras para la reducción de los impactos en cada una de las tecnologías implantadas en las centrales de generación distribuida.



Recomendaciones

Recomendaciones

1. Que se tenga presente este trabajo en la Empresa Eléctrica Cienfuegos, particularmente en la Unidad Básica Eléctrica de Generación para el desempeño ambiental de las centrales eléctricas de generación distribuida.
2. Vincular los nuevos Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido (LPESP) y la Revolución a las acciones de trabajo.
3. Realizar las mejoras propuestas para disminuir recursos empleados y emisiones al Medio Ambiente conforme a lo propuesto en el lineamiento 133 de los LPESP.
4. Investigar sobre el uso de energía renovable (como las celdas fotoeléctricas) para el funcionamiento de las centrales e implementar así el lineamiento 139 de los LPESP.
5. Conforme a lo que dice el lineamiento 138 de los LPESP, formar y capacitar continuamente al personal calificado para que respondan y se anticipen al desarrollo científico –técnico en las principales áreas de la producción y los servicios, así como en la prevención y mitigación de impactos sociales y ambientales.
6. Indagar sobre el posible cambio de gas por diesel en las centrales de generación distribuida de diesel, ya que tuvo un buen resultado en la termoeléctrica Carlos M Céspedes.

Bibliografía

- Álamo, L., González, M., & Sumpsi, C. (1998). Sistemas de gestión ambiental – Medio ambiente y tecnología. En *Guía ambiental de la UPC* (Edicions UPC., págs. 187-199).
- Alfonso Aranda. (2006, Marzo 23). ECODISEÑO Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Metodología del Análisis de Ciclo de Vida. CIRCE –Universidad de Zaragoza.
- Análisis del ciclo de vida del producto como herramienta de gestión ambiental. (2011, Noviembre 23). .
- Ángel. (2005). Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA). Recuperado a partir de [http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20\(nuevo%202003-04\).pdf](http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20(nuevo%202003-04).pdf).
- Aroche López, R. (2010). : *Investigación de la Gestión Ambiental en la Central Eléctrica Fuel Oil de Cruces*. tesis de grado, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rdguez”.
- Asbjomsen, O. A. (1995). Quality Assurance and Control (QAC) of Uncertainty Models and Simulations of Life Cycle Assessment (LCA). : *1995 IEEE Proceedings of ISUMA-NAFIPS*.
- Ayres, R. U. (1995). Life Cycle Analysis: a critique. *Resources, conservation and recycling*, (14), 199-223.
- Baker, J. W., & Cornell, C. A. (2003). *Uncertainty Specification and Propagation for Loss Estimation Using FOSM Methods*. Pacific Earthquake Engineering Research, Berkeley, California: Center, University of California at Berkeley.
- Baker, J. W., & Lepech, M. D. (2009). *Treatment of Uncertainties in Life Cycle Assessment*. Stanford, USA: Stanford University.
- Becker Zuazua, F. (2011). Prospectiva de la electricidad en España. En *ESTUDIOS DE ECONOMÍA APLICADA* (Vol. 29, págs. 415 – 432).
- Carvalho Filho, A. C. (2001, Julio). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento– Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica De Cataluña.
- Casado F.Sullana P. (1997). Ventajas competitivas del ACV en el ámbito empresarial. *Innovación Química*, (No 26).
- Ciroth, A. (2007). ICT for Environment in Life Cycle Applications openLCA – A new open source software for Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (12 (4)), 209 – 210.

- CNUMAD. (2002). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible*.
- Comisión Brundtland. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. ONU.
- Conesa, V., & Fernández, V. (2005). Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA). Recuperado a partir de [http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20\(nuevo%202003-04\).pdf](http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20(nuevo%202003-04).pdf).
- Conesa, V. & Fernández, V. (2005). Los sistemas de gestión medioambiental en la empresa (SGMA). Recuperado a partir de [http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20\(nuevo%202003-04\).pdf](http://www.uv.es/villalba/politicamed/Tema%2005%20SGMA%20(nuevo%202003-04).pdf).
- Cordero Hernández, A., & Pérez Noa, C. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de Azúcar en la provincia de Cienfuegos*. Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- CUBAENERGÍA. (2012). "Ciencia para el desarrollo energético sostenible.". Recuperado a partir de <http://www.cubaenergia.cu/index.php>.
- Chacón Vargas, J. R. (2008, Diciembre). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). Con una bibliografía selecta. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, (Nº 72), 37-70.
- Chargoy Amador, J. P., Rosas Millán, L. A., & Téllez Muradás, D. R. (2009, Enero 10). *Generación de inventarios para el Análisis de Ciclo de Vida de cemento, block, bovedilla, vigueta y ladrillo en la zona centro de México*. Tesis profesional, Universidad de las Américas Puebla.
- Dalgaard, R., Schmidt, J., Halberg, N., Christensen, P., Thrane, M., & Pengue, W. A. (2008). LCA of Soybean Meal. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (13 (3)), 240 – 254.
- Daniel. (s.d.). Herramientas para la gestión ambiental. Recuperado Febrero 21, 2012, a partir de <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/15HombAmb/160SGM.htm>.
- Danius, L. (2002). Data uncertainties in material flow analysis: Local case study and literature survey. *International Workshop on LCI-Quality*.
- De la Concepcion, M. P. L., Domínguez, E. R., Leiva Mas, J., Monteagudo Serrano, M., Morales Pérez, M., Alejo, D., et al. (s.d.). : Aplicación del análisis de ciclo de vida (acv) para la evaluación del impacto ambiental asociado a la generación de energía eléctrica.

- Dones, R., Heck, T., Emmenegger, M. F., & Jungbluth, N. (2005). Life Cycle Inventories for the Nuclear and Natural Gas Energy Systems, and Examples of Uncertainty Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (10(1)).
- Dorta Herrera, S. (Ed.). (2009). *MANUAL DE GESTIÓN GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD EN CUBA* (001º ed.).
- Dra. Elena Rosa Domínguez M. C. Amalia Sojo Benítez Dra. Mireya González Colín. (2008, Septiembre 3). *MODELACIÓN AVANZADA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA*. Coatzacoalcos, .
- Frankl, P., & Rubik, F. (2000). Life cycle assessment in industry and business, adoption patterns, applications and implications.
- Fullana, P., Adria, R., & Domenech, X. (2000). *ACV 2000X*. CV Ediciones.
- Gabi Software. (2012). Product Sustainability Software. *Product Sustainability Software*. Recuperado a partir de <http://www.gabi-software.com/support/latest-update/webinar-land-use/>.
- García Bermúdez, F. (2011). *Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. Trabajo de Diploma, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rdguez".
- Garcia, D. (2007, Junio 3). Analisis del ciclo de vida(ACV).
- Gobierno de Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente. Proyecto minimización de Residuos provenientes de Embalaje. (2001). *"Guía Metodológica Estudio de Ciclo de Vida"*.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Netherlands: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Recuperado a partir de <http://www.vrom.nl>.
- Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Methodology Report, The Netherlands.
- Güereca Hernández, L. P. (2006, Noviembre). *Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión Integral de residuos municipales*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Holland, E. (2003). Can the principle of the Ecological Footprint be applied to measure the environmental sustainability of business? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, (10), 224-232.

- Huijbregts, M. A. J. (2001). Framework for Modeling Data Uncertainty in Life Cycle Inventories. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (6(3)), 127-132.
- Hunt, R. G., & Franklin, W. E. (1996). LCA- How it came about: Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (1(1)), 4-7.
- Iglesias, D. (2005). Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. Recuperado a partir de <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.
- Impacto ambiental en el sector energetico. (2012, Febrero 9). .
- ISO 14 001. (2006). *Sistemas de gestión ambiental — Especificación con orientación para su uso*.
- ISO 14040. (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- ISO 9000. (2000). *Sistemas de gestión de la calidad-Fundamentos y vocabulario*.
- Jim Fava y Jennifer Hall de Five Winds International. (2004). ¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida?
- Jolliet, O. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (8(6)), 324-330.
- Josa, A., Cardim, A., Agudo, A., & Gettu, R. (1999). *Considerations in the life assessment of precast concrete products. In Venezia*.
- La Energía Eléctrica: Importancia de su producción e impacto Medioambiental. (2012, Enero 19). .
- Lic. Maricela Pérez Medina, & Lic. Fernando Martínez Blanco Lic. Lucy López Leiva Lic. Odalys Chou Rivero. (2007, Octubre 19). Por una cultura energetica.
- Manual del MINBAS. (s.d.). .
- Martínez, E. (2003). Revista Trimestral latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable.”.
- Meissner Schau, E., & Magerholm Fet, A. (2008). LCA Studies of Food Products as Background for Environmental Product Declarations. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (13 (3)), 255 – 264.
- Menke, D. M., Davis, G., & Vigon, B. (1996). Evaluation Of Life-Cycle Assessment Tools, Hazardous Waste Branch Environment Canada.
- Mosulen. (2004). *CÓDIGO DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES SISTEMA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL*.

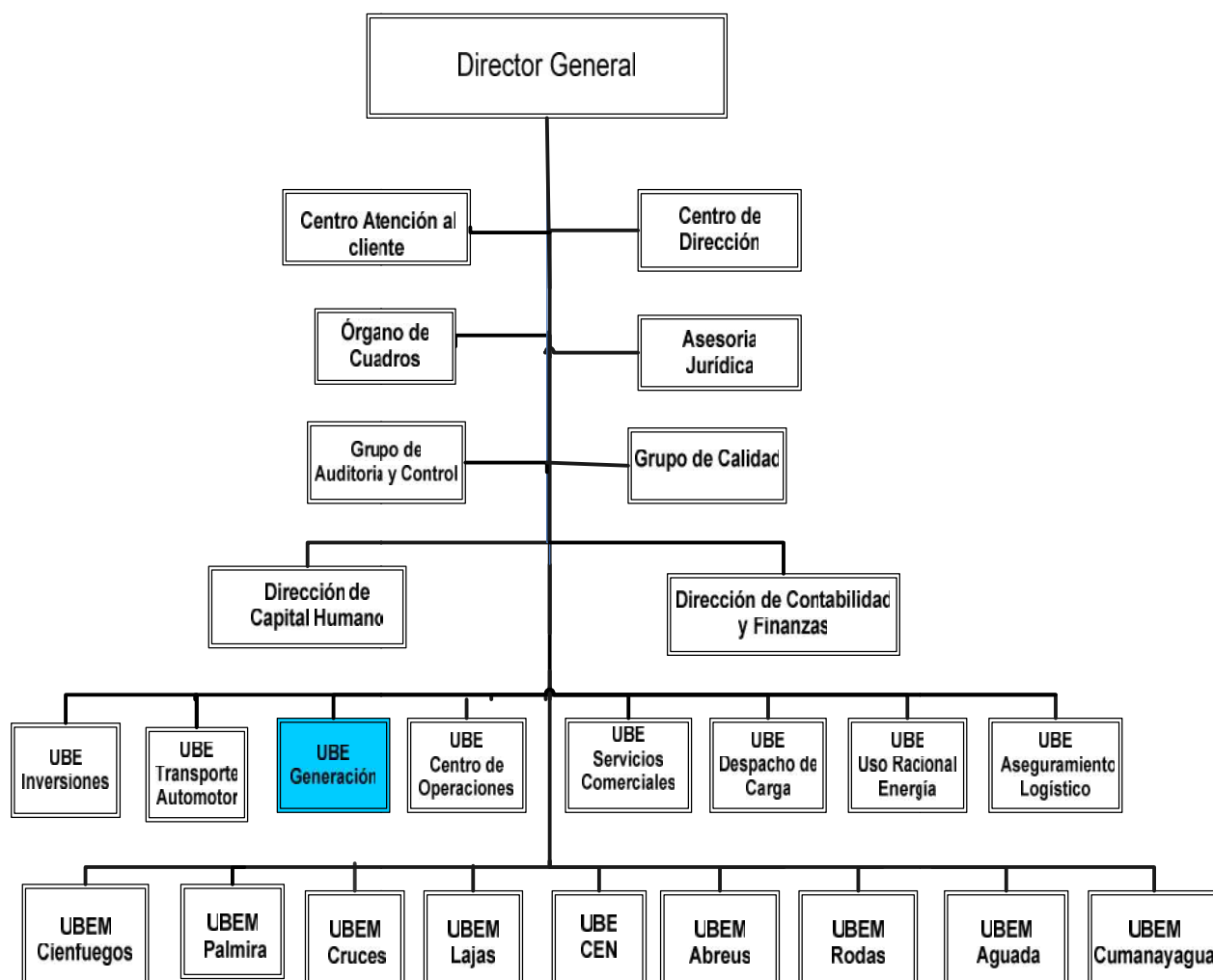
- MSc. Marisela Quintana Orovio. (2008). La Gestión Ambiental Empresarial. Los Sistemas de Gestión y su aplicación en Empresas.
- Narayanaswamy, V., Altham, W. (., Van Berkel, R., & McGregor, M. (2004). *Environmental Life Cycle Assessment (LCA) Case Studies for Western Australian Grain Products*. Western Australia: Centre of Excellence in Cleaner Production, Curtin University of Technology. Recuperado a partir de <http://cleanerproduction.curtin.edu.au/>.
- NC ISO 14 040. (1999). *Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura*.
- NC-ISO 9000. (2001). *Sistemas de Gestión de la Calidad: Términos y Definiciones*.
- Néstor Monroy, Bart van Hoof, & Juan Carlos Espinosa. (s.d.). *LCA (LIFE CYCLE ANALYSIS): UNA HERRAMIENTA DE LA INDUSTRIA PARA CONCILIAR LA CRISIS AMBIENTAL Y EL DESARROLLO EMPRESARIAL*.
- Nonhebel, S. (2004). On resource use in food production systems: the value of livestock as 'rest-stream upgrading system. *Ecological Economics*, (48), 221–230.
- Norris, G., Suppen, N., do Nascimento, A., & Ugaya, C. (2004). Impactos socio-económicos en el análisis de ciclo de vida de productos: de un Análisis Ambiental de Ciclo de Vida (ACV) a un ACV Sustentable, en Tópicos de ACV en Latinoamérica.
- Nucleoeléctrica Argentina S.A. (2006). La generación de energía eléctrica y la sociedad. Recuperado a partir de WWW.NA-SA.COM.AR.
- Oficina Nacional de Estadísticas. (2006). *Primer Compendio de Estadísticas del Medio Ambiente, Cuba 1990-2004*. Ciudad de la La Habana, Cuba. Recuperado a partir de <http://www.one.cu>.
- Programa Nacional de Auditoria Ambiental. (2008). La ley al Servicio de la Naturaleza. Recuperado a partir de : www.profepa.gob.mx.
- Pulkkinen, H., Krogerus, K., Katajajuuri, J., Saarinen, M., Hartikainen, H., Silvenius, F., et al. (2011). *Developing LCA methodology guide for the food industry*.
- Rodríguez Becerra, M. (2005). *Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas*. Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible, División de Medio Ambiente.
- Rodríguez Pérez, B. (2007). Análisis de Distintas Herramientas Informáticas para el Análisis del Ciclo de Vida.
- Rodríguez Pérez, B. (2011). Eco-Speed, New Life Cycle Assessment Methodology for Latin American Countries. Presented at the CILCA 2011, México.

- Rodríguez, M., & Espinoza, G. (2002). Gestión ambiental en América Latina y el Caribe Evolución, tendencias y principales prácticas. Recuperado a partir de <http://www.iadb.org/sds/doc/Capitulo2.pdf>.
- Romero Rodríguez, B. I. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental.
- Rosa María León Rodríguez. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A.* tesis de grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rdguez".
- Rosmarie Sommer, Ruth Wenger, Susanne Wymann von Dach. (s.d.). Focus (Energía sostenible Mitigación de la pobreza rural). 2-06.
- Ruini, L., & Marino, M. (2009). LCA Semolina Dry Pasta Produced by Barilla.
- Sáenz de Buruaga, Jaime Mayté, & Zúfia. (1996). "Análisis de ciclo de vida para la reducción de impactos medioambientales generados por el sector agroalimentario Vasco", Publicado en la Rev.Agroalimentaria, Vol. 49, p. 48-50.
- Schuurmans, A. (2003). Data Quality Assessment Method for LCI-Data of The Dutch Building Industry. ." *International Workshop on LCI-Quality*, (7).
- Serrano, D., & Dufour, J. (2008). El Análisis del Ciclo de Vida de la Energía ." Energía y Sostenibilidad., 1ra Parte. Recuperado a partir de <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2008/05/22/92559>.
- SETAC. (1999). *Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes* (pág. 28). Society for Environmental Toxicology and Chemistry.
- Sistema Integrado de Gestión Ambiental-Salud y Seguridad Ocupacional (página 2) - Monografias.com.(s.d.).Recuperado Febrero 21, 2012, a partir de <http://www.monografias.com/trabajos12/sisteint/sisteint2.shtml>.
- Sonnemann, G., Castells, F., & Schuhmacher, M. (2003). *Integrated life cycle and risk assessment for industrial processes* (Lewis Publishers.).
- Stern, S., Sonesson, U., Gunnarsson, S., Öborn, I., Kumm, K. I., & Nybrant, T. (2005). Sustainable Development of Food Production: A Case Study on Scenarios for Pig Production. *Ambio*, (34), 402–407.
- Suppen, N., & Van Hoof, B. (2005). Conceptos básicos del Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño. *Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable*. Recuperado a partir de <http://www.lcamexico.com>.
- Tor, D. (2003, Enero 5). Sistema Integrado de Gestión Ambiental-Salud y Seguridad Ocupacional (página 2) - Monografias.com. Recuperado Febrero 21, 2012, a partir de <http://www.monografias.com/trabajos12/sisteint/sisteint2.shtml>.

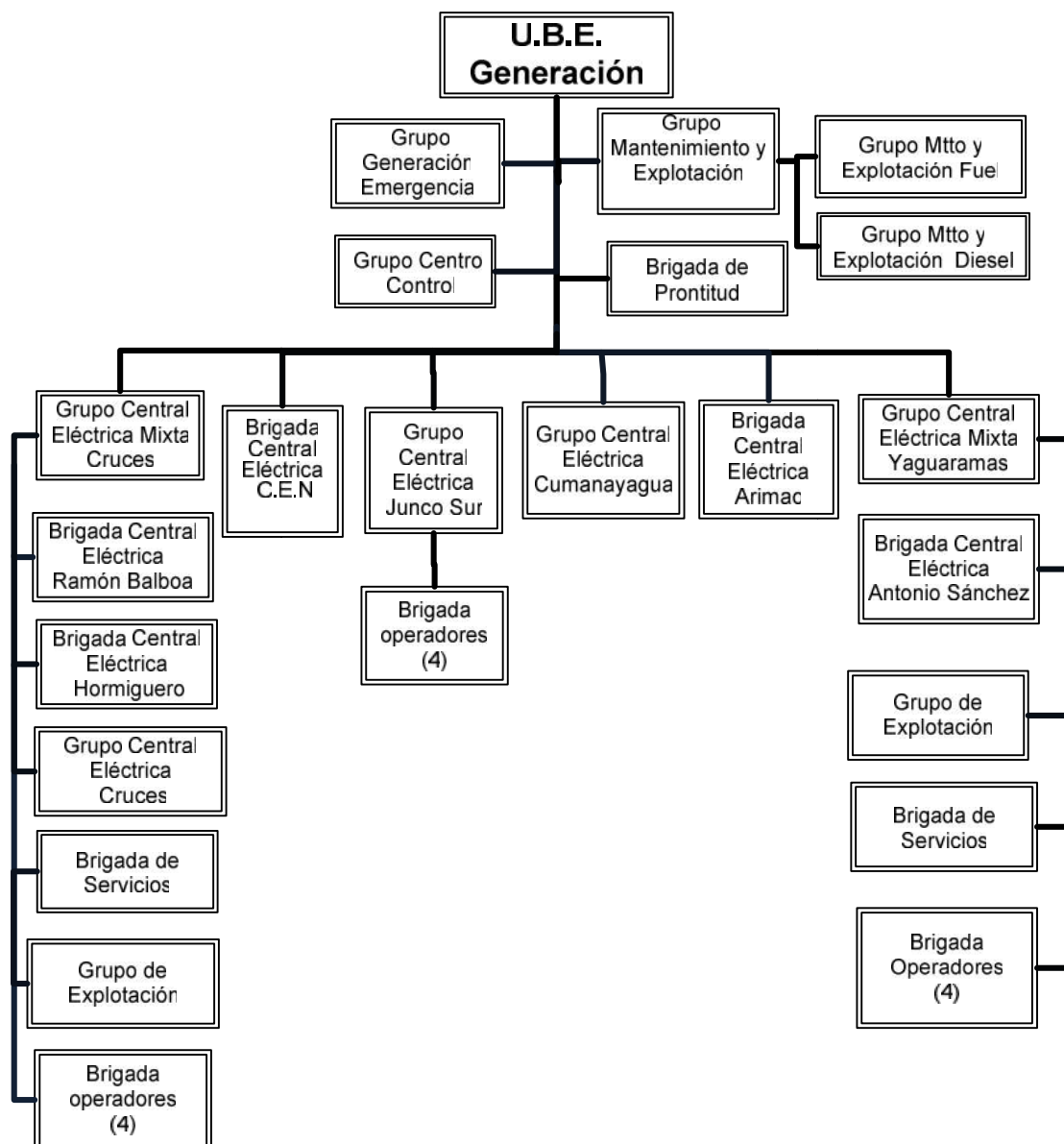
-
- Trinius Wolfram. (1999). *Environmental Assessment in Building and Construction*, Kungliga.
- Tukker, A., Huppes, G., Guinée, J., Heijungs, R., Koning, A., Geerken, T., et al. (2005). Analysis of the life cycle environmental impacts related to the total final consumption of the EU25. *Environmental impacts of products (EIPRO)*.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. *New Society Publishers*, 160.
- Wikipedia. (2011). Generación distribuida.
- Wrisberg et al., N. (1997). A Strategic Research Programme for Life Cycle Assessment. *LCANET Theme Report, LCANET meeting: From Life Cycle Assessment to Tolls for Chain*, 28.
- Zhang, Y., & Vidakovic, B. (2005). Uncertainty Analysis in Using Markov Chain Model to Predict Roof Life Cycle Performance. Presented at the 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components, Lyon, France.

Anexos

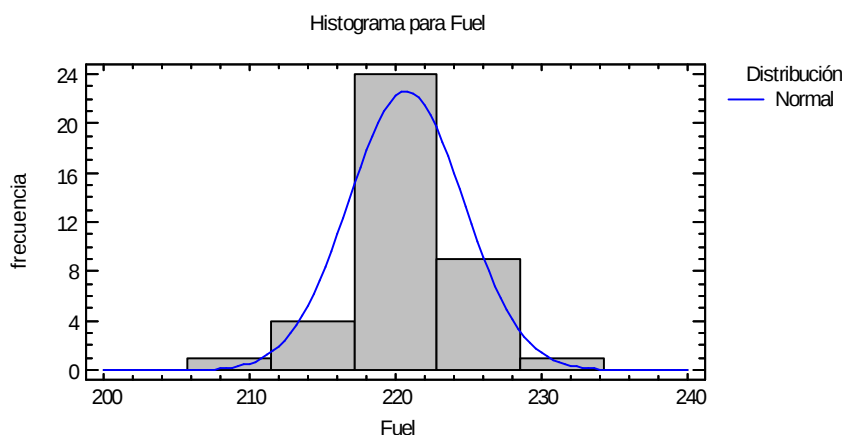
Anexo 1: Estructura de dirección organizativa Empresa Eléctrica Cienfuegos. Fuente: Empresa Eléctrica Cienfuegos.



Anexo 2: Organigrama de la U.B.E. Generación. Fuente: Empresa Eléctrica Cienfuegos.



Anexo 3: Análisis de normalidad para los índices de consumo de fuel oíl de la central Fuel Oíl-Cruces. Fuente: Statgraphics Centurión.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Fuel

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

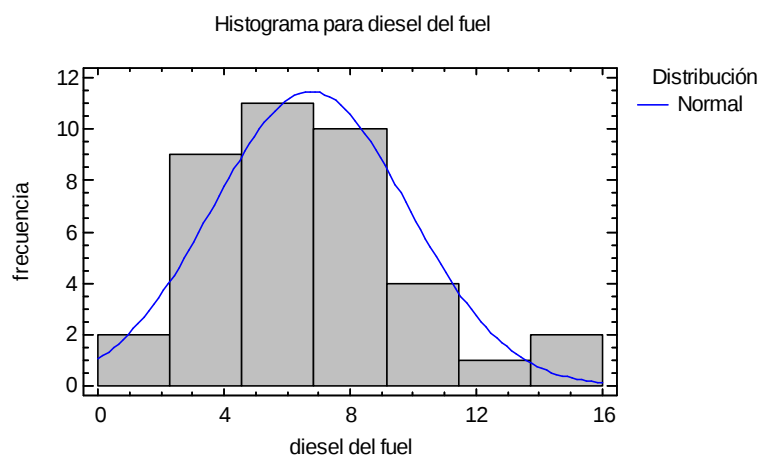
	<i>Normal</i>
DMAS	0,096830 7
DMENOS	0,082323 2
DN	0,096830 7
Valor-P	0,857989

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Fuel puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Fuel proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Anexo 4: Análisis de normalidad para los índices de consumo de diesel de la central Fuel Oíl-Cruces. Fuente: Statgraphics Centurión.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para diesel del fuel

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

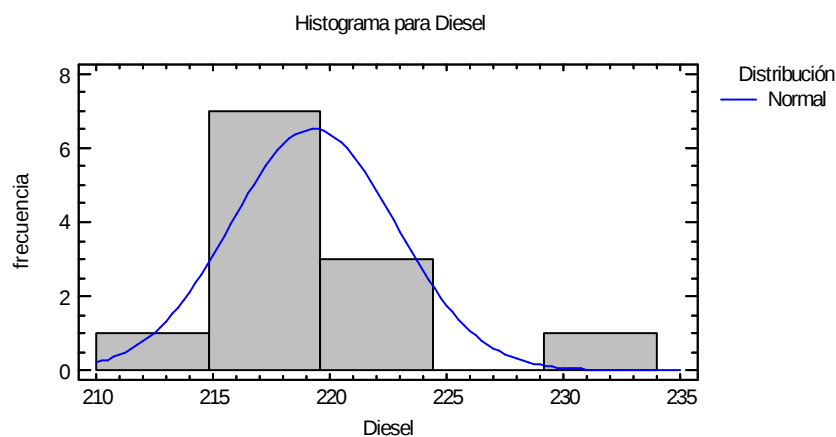
	<i>Normal</i>
DMAS	0,099739 2
DMENOS	0,090619 2
DN	0,099739 2
Valor-P	0,83263

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si diesel del fuel puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que diesel del fuel proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Anexo 5: Análisis de normalidad para los índices de consumo de diesel de la central Diesel-Junco Sur. Fuente: Statgraphics Centurión.



Pruebas de Bondad-de-Ajuste para Diesel

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,29762 5
DMENOS	0,19802 7
DN	0,29762 5
Valor-P	0,23884 6

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Diesel puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Diesel proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Anexo 6: Las distribuciones probabilísticas y los parámetros de los productos de la central Fuel Oil-Cruces. Fuente: Elaboración propia.

Producto	Distribución	Parámetros		
Diesel	triangular	L.I -3165.09	P.C 55820.5	L.S 66331.2
Aceite(motor,mastrón Ti4040)	triangular	L.I 935.72	P.C 8037.0	L.S 17765.1
Aceite Lubricante Hyspin AWH-M32	triangular	L.I 1.73789	P.C 5.0	L.S 32.6182
Aceite Lubricante Aircol PD 100	Lognormal	M 12.7571	des est 10.5688	Eclogmed 2.2848 Eclogdes 0.722888
Aceite Lubricante Alpha SP 150	triangular	L.I -6.41748	P.C 27.0016	L.S 56.672
Aceite Lubricante MLC-40	uniforme	L.I 5	L.S 60	
Vapen 230 RO Plus	uniforme	L.I 8	L.S 21.2	
Hidróxido de Sodio(sólido)	triangular	L.I -0.632218	P.C 5.99966	L.S 23.4325
Vapen 220	triangular	L.I 27	P.C	L.S 51.6149
Vapen 300		M 10,89444444		
Vapen N		M 1,608333333		
Alphacon Multisíp		M 2,138888888		
Agua	Normal	M 307.991	des est 84,71	
Fuel Oil	Normal	M 1.38127E6	de est 531521	
Insumo eléctrico	Normal	M 198233	des est 68138.5	
generación	Normal	M 6.25045E6	des est 2.39884E6	
Lodo		M 4120,43589		
Pintura Marisma Brillante		M 7,166666666		
Pintura Esmalte		M 15		

Diluyente 622		M	99,66666666		
Disolvente Sintético		M	6,66666666		
Graso					
Pasta Indicadora de Combustible		M	1,461538461		
CO2	triangular	L.I	-338916	P.C 7,71635E6	L.S 7,71633E6
NOX	triangular	L.I	-4570,53	P.C 104061,	L.S 104060,
SOX	triangular	L.I	-4352,89	P.C 99105,4	L.S 99105,

Leyenda

LI: Límite inferior

PC: Punto central

LS: Límite superior

M:Media

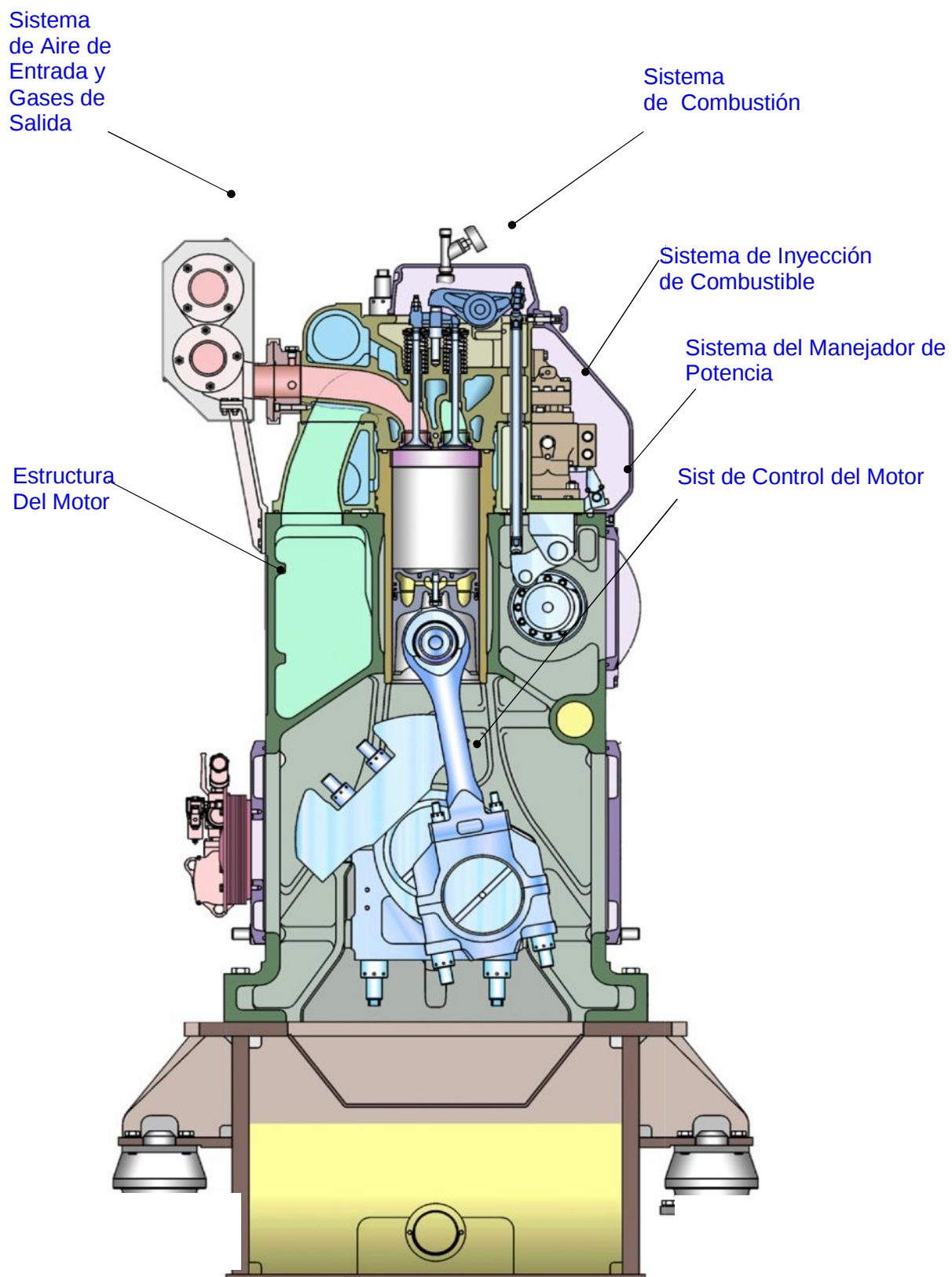
Eclogmed: Escala logarítmica de la media

Eclogdes: Escala logarítmica de la desviación estándar

Anexo 7: Las distribuciones probabilísticas y los parámetros de los productos de la central Diesel-Junco Sur. Fuente: Elaboración propia.

Producto	Distribuciones	Parámetros		
Diesel	triangular	L.I 52523,7	P.C 53284,0	L.S 1,08965E6
Liquido Refrigerante		M 180,7837		
Aceite Motor Extradiesel	triangular	L.I 114,0	P.C 113,325	L.S 4178,88
Aceite Trasmisión Circulación 68		M 16		
Insumo Eléctrico	triangular	L.I 9113,99	P.C 9114,0	L.S 186043,
Generación	triangular	L.I 198751,	P.C 198725,	L.S 4,18692E6
Nafta Solvente Reductor Visc		M 3		
Disolventes Sinteticos y Grasos		M 17		
Pintura Marisma Brillante		M 30		
Pintura de Vinil		M 9		
Agua Desmineralizada		M 27		
Limpiador para Filtros de Aceite		M 11		

Anexo 8: Sección transversal del motor. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.



Anexo 9: Datos técnicos y características del motor Hyundai 9H 21/32. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.

Tipo de motor	Unidad medida	De 4 golpes, inyección vertical directa, tipo de pistón de tronco, con turbocargador.
Configuración del cilindro		Línea de adentro
Número de Cilindro		9
Velocidad de operación	rpm	900
Potencia por Cilindro	kW	200
Diámetro del cilindro	mm	210
Desplazamiento del pistón	mm	320
El Volumen de barrido por el Cilindro	dm ³	11.1
Promedio de la velocidad del pistón	m/s	10.7
¡Promedio de la presión eficaz	bar	21.7
La proporción de compresión		17:01

Anexo 10: Procedimiento de estimación de gases. Fuente: Proyecto Carbono (“Estimación de emisiones de los gases de efecto invernadero en instalaciones energéticas seleccionadas”)

Estimación de CO₂ en hornos, calderas, antorchas y motores de combustión interna

Emisiones de CO₂ (kg)=1000*M*MFCARBON*CFCMW [2]

Donde:

M, es la masa de combustibles quemado (ton)

MFCARBON, fracción de masa de carbón en el combustible.

CFCMW, conversión del peso molecular de C a CO₂= (44,01/12,01) = 3,664.

Estimación de emisiones de NO_x

Las emisiones de NO_x se calculan a partir de FE(Factor de Emisión (g/GJ), masa por unidad de energía consumida).

Estimación de emisiones de SO_x

Para cualquier fuente de combustión se puede emplear la siguiente ecuación para estimar las emisiones de SO_x.

Emisiones de SO₂ (kg) = 1000*M*MFS*SFMW

Donde:

M, es la masa de gas combustible (ton)

MFS, fracción de masa de azufre en el combustible

SFMW, conversión del peso molecular de S a SO₂= (64/32) =2

Esta ecuación asume que todo el azufre es convertido a SO₂. Sin embargo, en ausencia de datos es posible emplear FE reportados en la literatura de acuerdo con la tecnología y el tipo de combustible.

Anexo 11: Especificaciones de la unidad de aire comprimido. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.

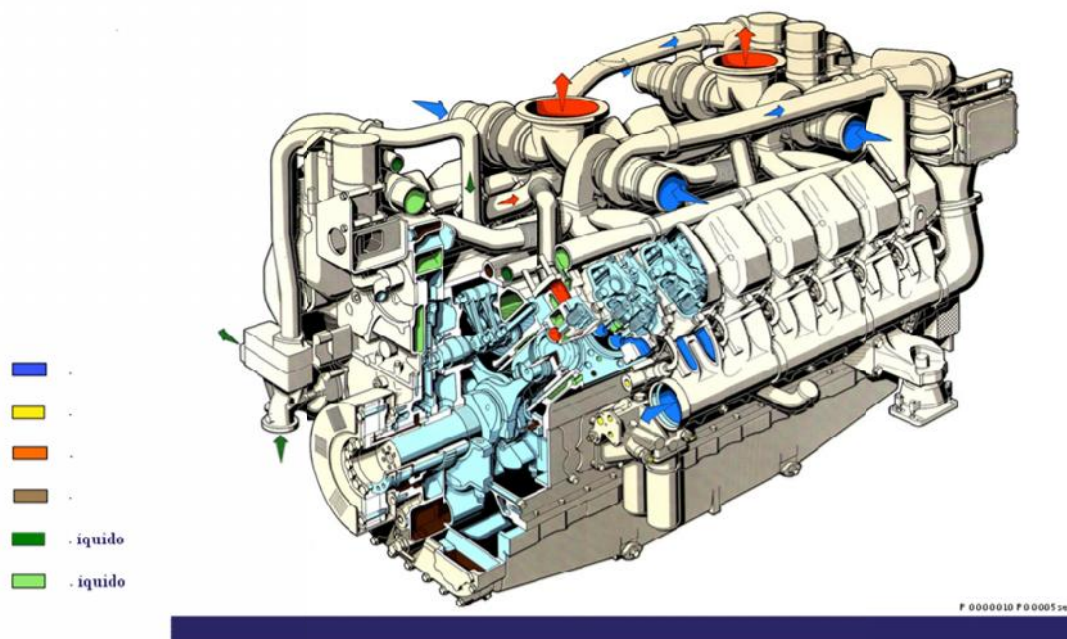
TITULO		Compresor Alta	Compresor Baja
MODELO		LT - 106	LS-106
TIPO		En V de 2 Etapas Enfriamiento por aire.	
PRESIÓN DE DESCARGA		Normal 30	Normal 9
		MAXIMA 40 bar	MAXIMA 11
POTENCIA DEL MOTOR		8.6 kW	
VELOCIDAD A 60 Hz		1750 rpm	
FLUJO DE DESCARGA		32 m ³ /hr	
PRESIÓN DE DESCARGA DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD	1ra. etapa	8 bar	5 bar
	2da etapa	32 bar	11 bar
CONDICIÓN DE SUCCIÓN.		AIRE AMBIENTE	

Anexo 12: Datos técnicos de los componentes de la PTQA. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.

Componente	Dimensión	Capacidad	Presión Kg/ cm ²	Temperatura °
Filtro Mecánico	Ø200 × 1750H	3 m ³ /hr	Atmosférica	Ambiente
	Ø 350 × 1650H	1.3 m ³ /hr	4.0	amb
Filtro (Pretratamiento osmosis)	Ø 200 × 650H	1.3 m ³ /hr	4.0	amb
Unidad(osmosis)	-x L -x H -	1.5 m ³ /hr	ago-15	amb
Filtro de limpieza	Ø 200 × 650H	1.3 m ³ /hr	4.0	amb
Tanque de agua desgasificada	Ø 550 × 750H	0.1 m ³	atm	amb
Tanque Dosificador NaOH	Ø	2.rL/h	9.8 bar	amb
Tanque Anticoagulante	Ø 485 × 650H	0.2 m ³	atm	amb
Tanque de limpieza	Ø 650 × 650H	0.2 m ³	atm	amb
Tanque agua Desmineralizada	Ø 1400 × 1700H	13.5-m3	atm	amb

Anexo 13: Motor diesel. Fuente: Departamento de mantenimiento y explotación de las centrales distribuidas.

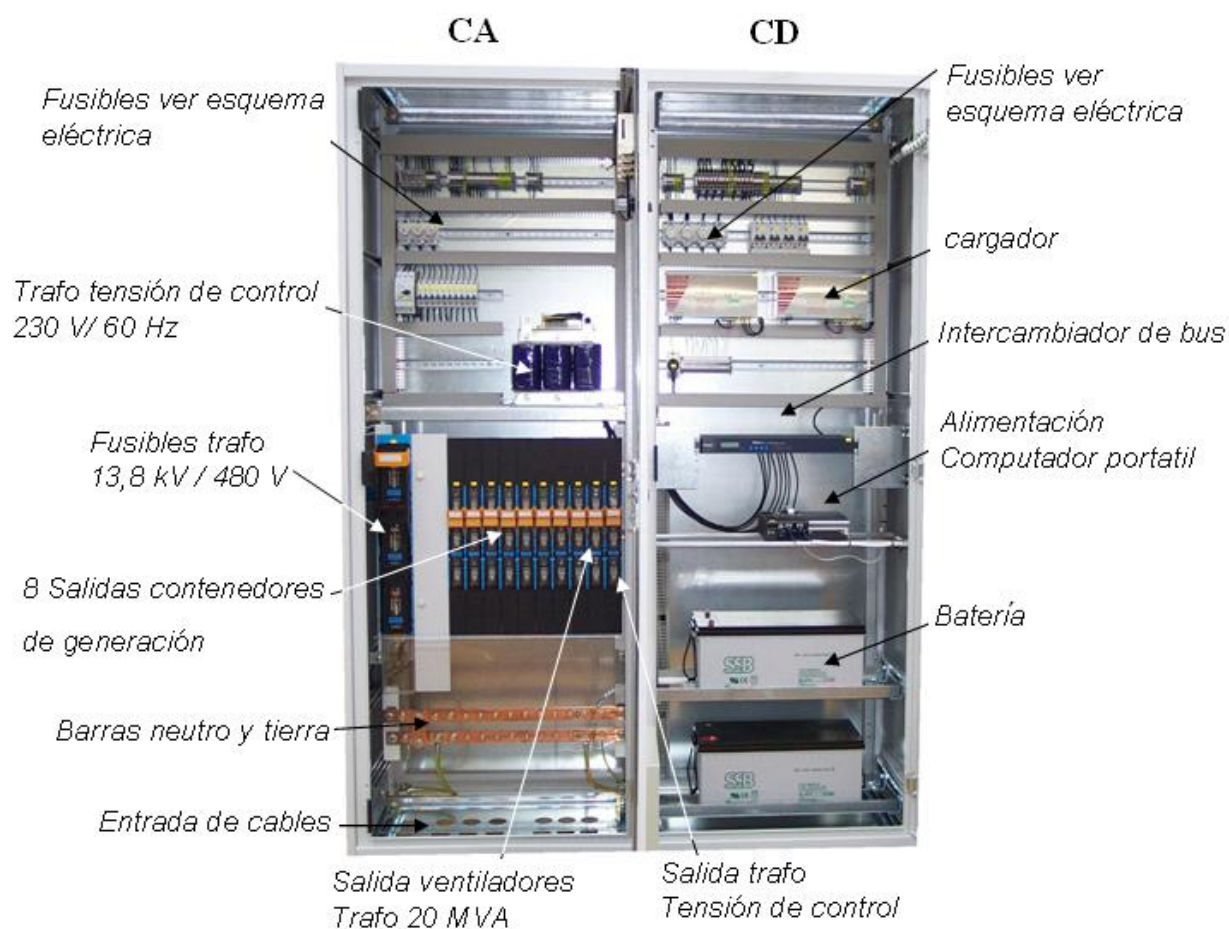
V 4000 G Motor Diesel
Diesel Engine



Anexo 14: Celdas. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.



Anexo 15: Panel de corriente directa y corriente alterna. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.



Anexo 16: Batería portátil. Fuente: Procedimiento de operación de la generación distribuida.



Anexo 17: Inventario de la generación distribuida de energía eléctrica en la central Fuel Oíl –Cruces. Fuente: Elaboración propia.

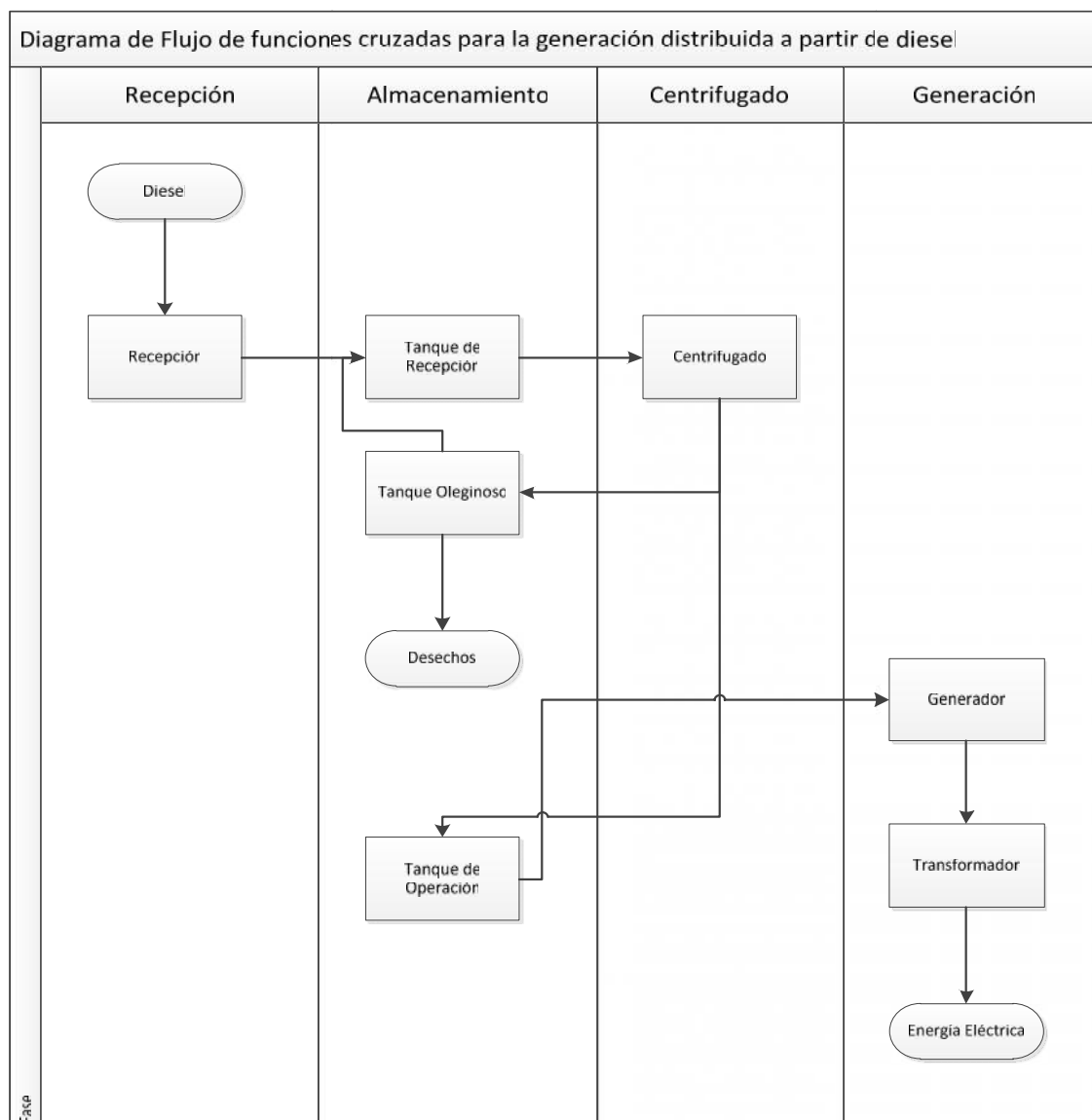
ENTRADAS	UM	2009	2010	2011	1er trimestre 2012
Insumo Eléctrico	MW.h	2.220.976	2.374.768	2.625.110	510.230
Fuel Oíl	L(miles)	15.521.580	16.403.553	18.336.573	3.607.789
Diesel	L(miles)	432.310	406.995	523.017	150.457
Aceite(motor,mastrón Ti4040)	L(miles)	95.313	91.588	121.978	29.133
Aceite Lubricante Hyspin AWH-M32	L	72	101	92	0
Aceite Lubricante Aircol PD 100	L	43	76	95	0
Aceite Lubricante Alpha SP 150	L	151	65	113	0
Aceite Lubricante Aircol SR 68	L	0	5	15	0
Aceite Lubricante MLC-40	L	66	78	220	0
Vapen 230 RO Plus	L	0	0	178	0
Hidróxido de Sodio(sólido)	kg	0	0	102	0
Vapen 220	L	0	0	392	0
Vapen 300	L	0	0	58	0
Vapen N	L	0	0	77	0
Alphacon Multisíp	L	0	0	5	0
Agua	m³	3.818	3.737	3.818	625
SALIDAS					
Generación Bruta	GW.h	69.911.250	73.757.885	83.517.680	16.580.790
Lodo	L(miles)	119.159	194.425	237.113	0
Pintura Marisma Brillante	L	0	0	86	0
Pintura Esmalte	L	0	0	180	0
Diluyente 622	L	0	0	1.196	0
Disolvente Sintético Graso	L	0	0	80	0
Pasta Indicadora de Combustible	U	0	0	19	0
CO2	kg	53.174.450	56.195.948	62.818.165	12.359.708
SOx	kg	682.950	721.756	806.809	158.743
NOx	kg	717.097	757.844	847.150	166.680

Anexo 18: Inventario de la generación distribuida de energía eléctrica en la central Diesel–Junco Sur. Fuente: Elaboración propia.

ENTRADAS	Unidad	2009	2010	2011	1er trimestre 2012
Diesel	l	8054469	3929674	1987398	464858
Líquido Refrigerante	l	3370	1724	1190	405
Aceite Motor Extradiesel	l	25913	18538	8796	1214
Aceite Motor MLC-40	l	0	0	0	0
Aceite Trasmisión Circulación	l	0	48	17	0
68					
Insumo Eléctrico	kW.h	1286822	674870	350982	89218
		0	0	0	0
SALIDAS					
Generación	kW.h	33263318	12922603	7445372	1222530
Nafta Solvente Reductor Visc	l	0	0	20	0
Disolventes Sintéticos y	l	0	0	125	0
Grasos					
Pintura Marisma Brillante	l	0	0	228	0
Pintura de Vinil	l	0	0	70	0
Agua Desmineralizada	l	0	0	200	0
Limpiador para Filtros de Aceite	l	0	0	85	0
CO2	kg	30929161	15089948	7631608,3	1207737,6
SO2	kg	402723,45	196483,7	99369,9	15725,75

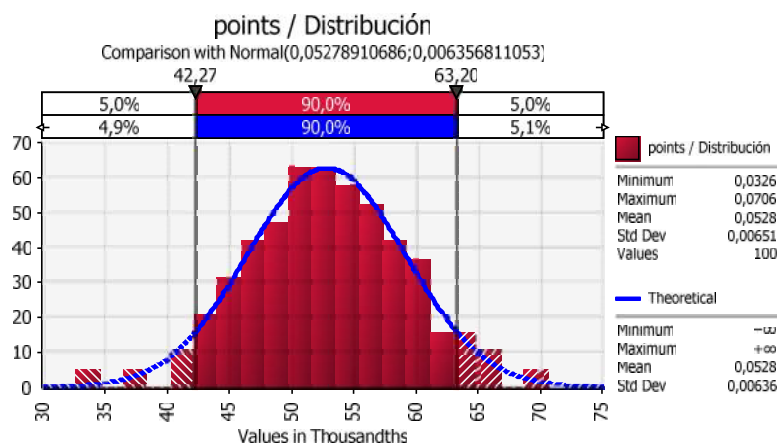
	Recepción de Combustible	Almacenamiento de Combustible	Tratamiento de Agua	Generación	Compresores	Caldera
Fase	Diesel Recepción Bombeo Bombeo de transferencia Fuel Recepción Bombeo Bombeo de Transferencia	Almacenamiento Almacenamiento	Agua Cruda Almacenamiento PIQA Agua de Rechazo	HTU MDL Transformador Energía Eléctrica	Aire Compresor de alta presión Compresor de baja presión Funcionamiento de los equipos de la planta	Caldera

Anexo 20: Diagrama de Flujo Básico con Funciones Cruzadas del proceso de generación eléctrica en la central Diesel-Junco Sur. Fuente: Elaboración propia.

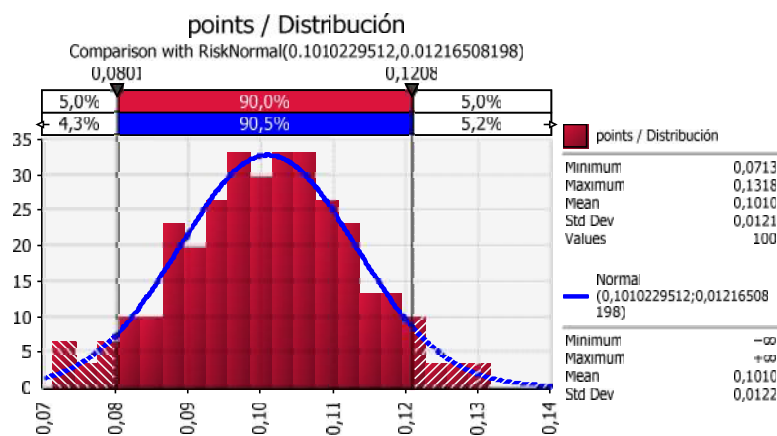


Anexo 21: Análisis de sensibilidad por el método de simulación de Montecarlo para cada una de las categorías de impacto de la central Fuel Oíl-Cruces. Fuente: Elaboración propia.

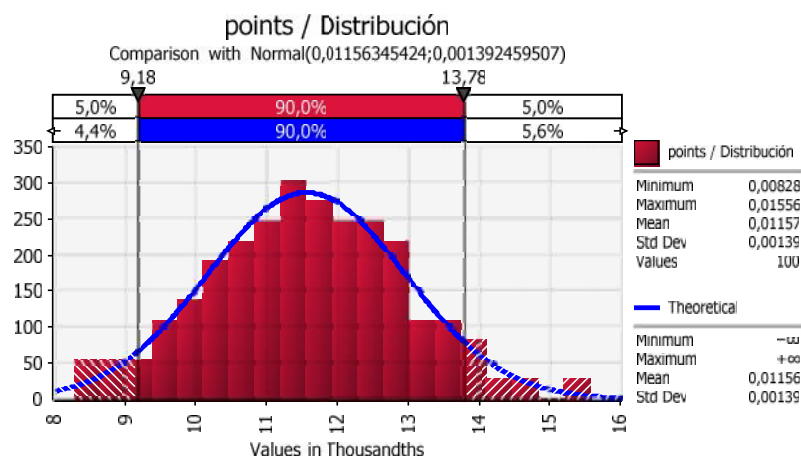
Toxicidad Agua Dulce



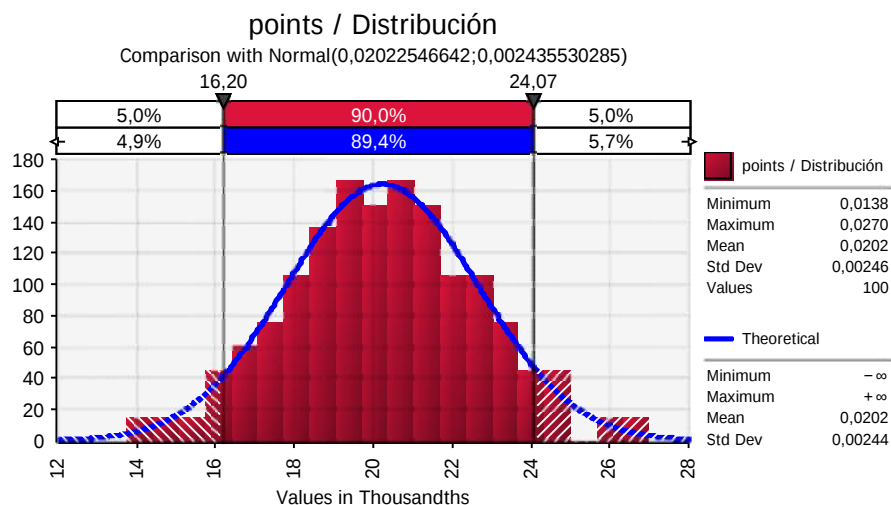
Smog Fotoquímico



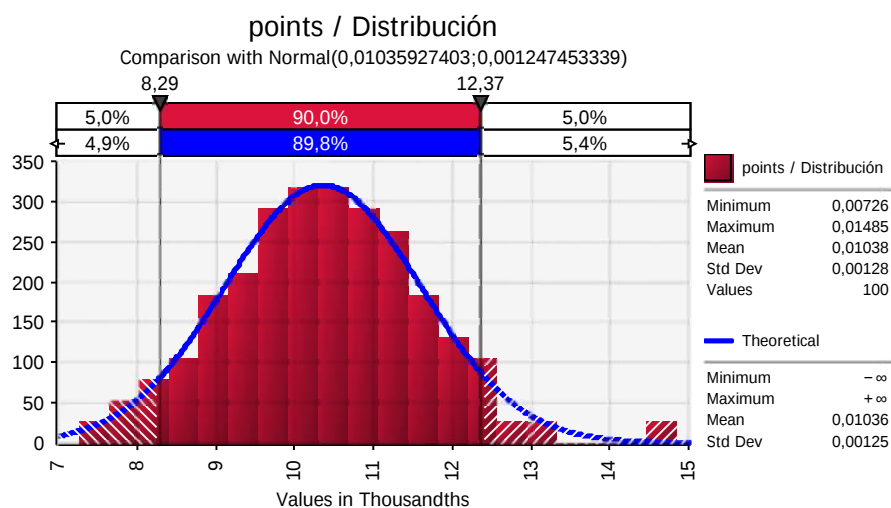
Uso del suelo



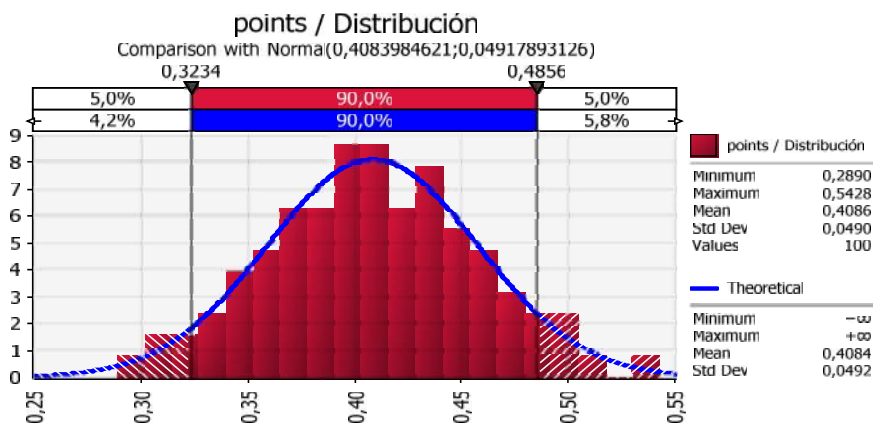
Capa de ozono



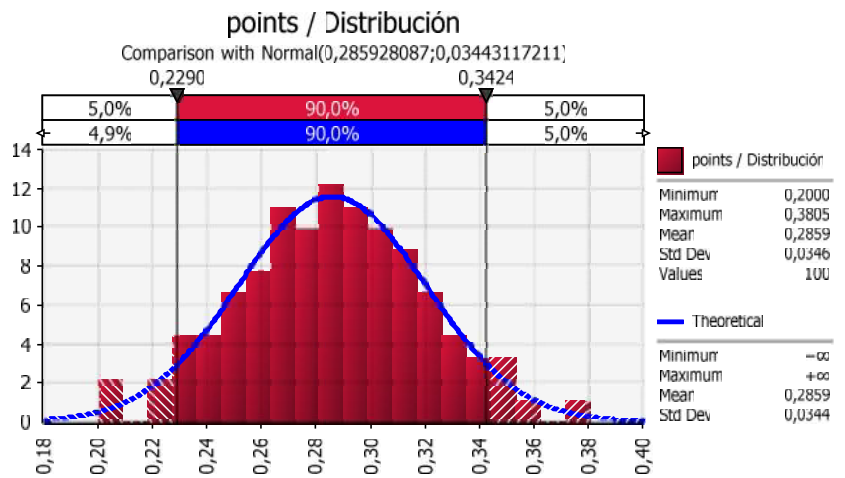
Toxicidad Humana



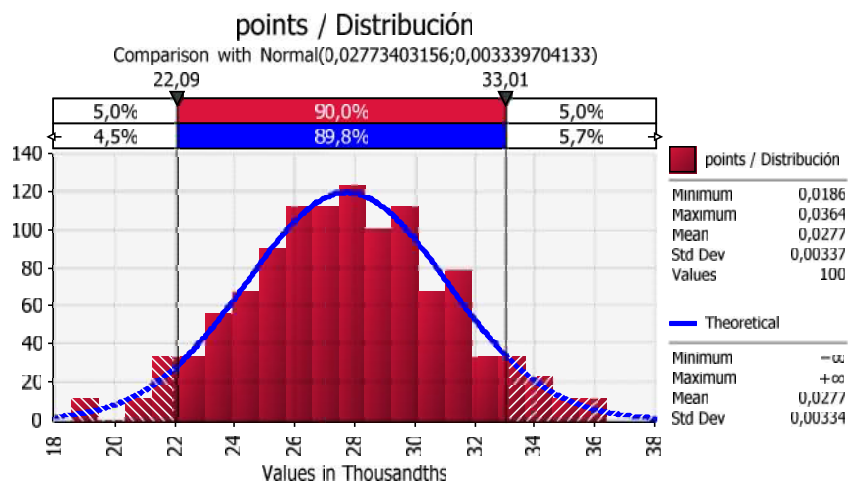
Agotamiento de Recursos



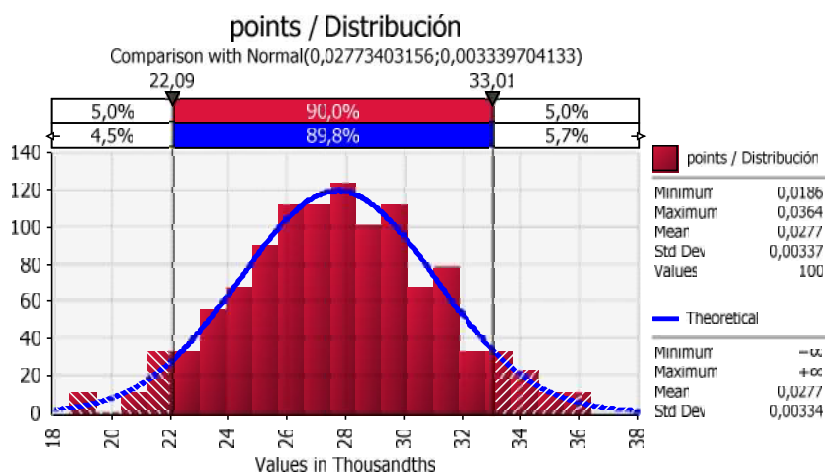
Calentamiento Global



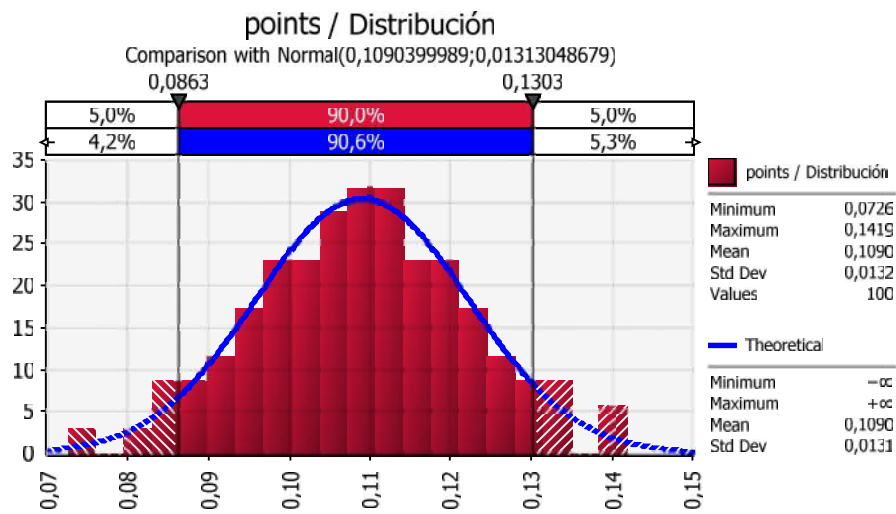
Eutrofización



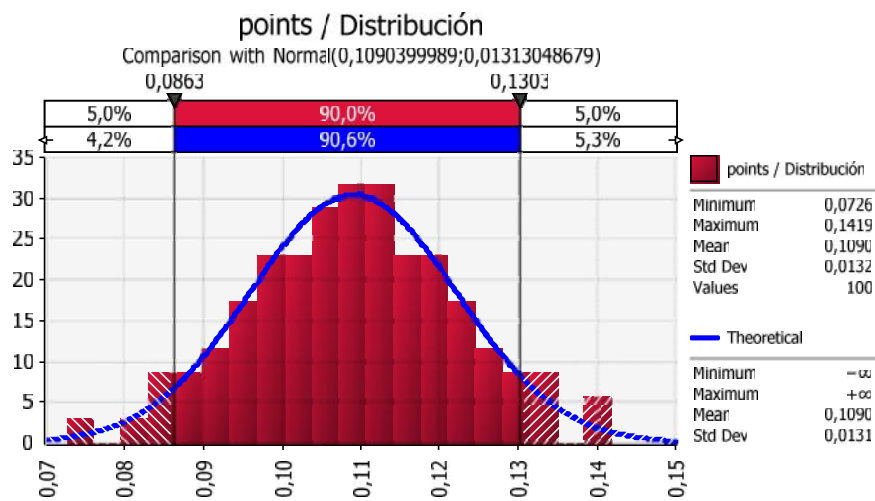
Toxicidad Marina



Acidificación

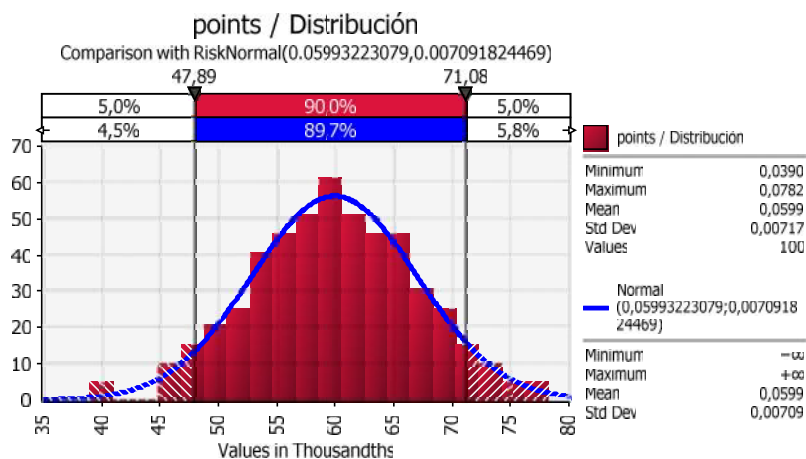


Uso del Agua

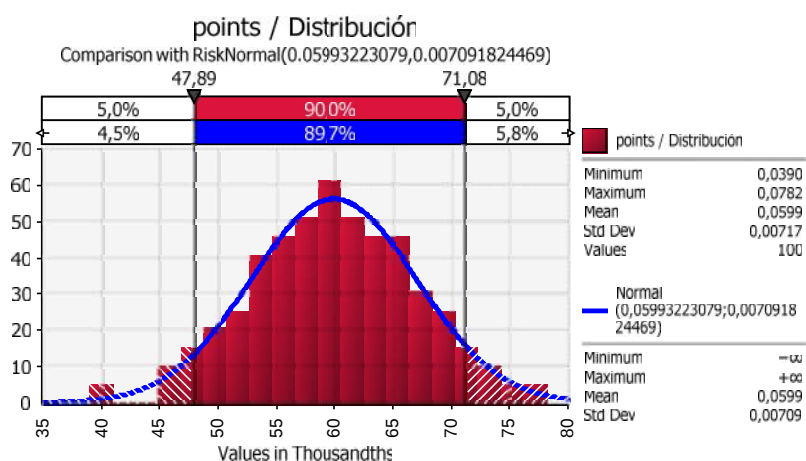


Anexo 22: Análisis de sensibilidad por el método de simulación de Montecarlo para cada una de las categorías de impacto de la central Diesel-Junco Sur. Fuente: Elaboración propia.

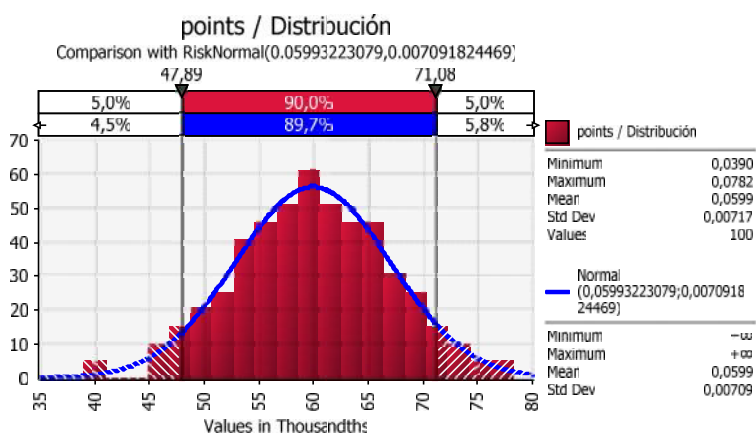
Toxicidad Agua Dulce



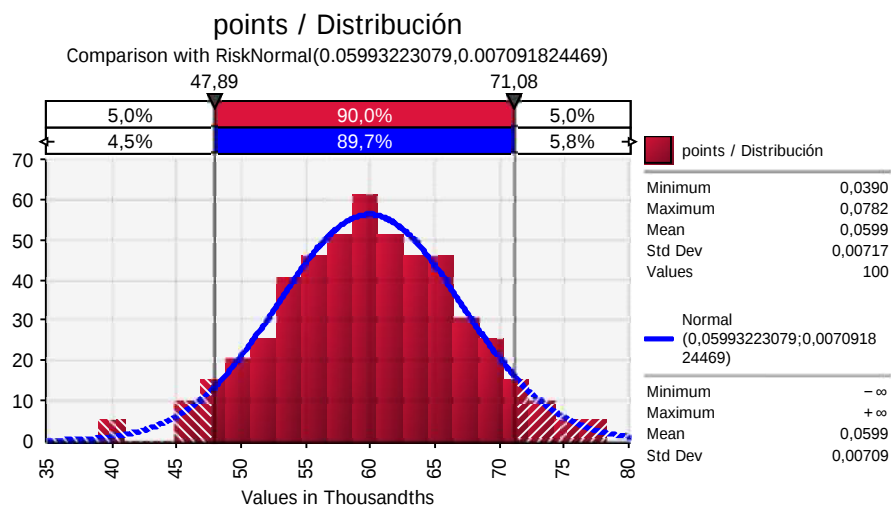
Smog Fotoquímico



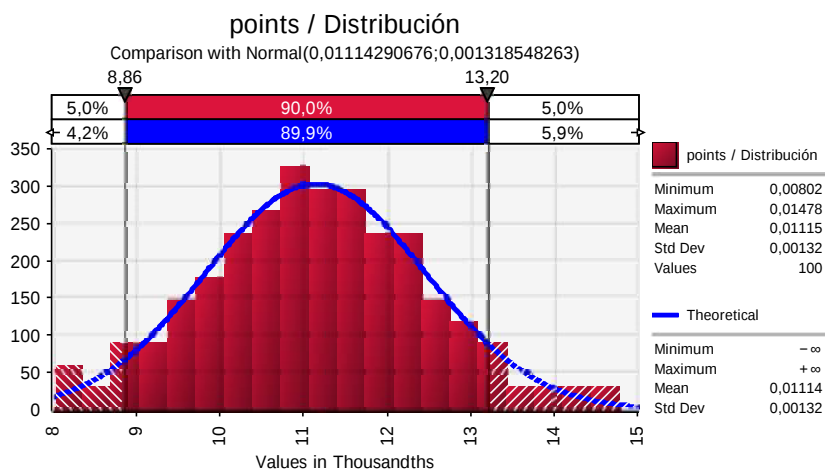
Uso del suelo



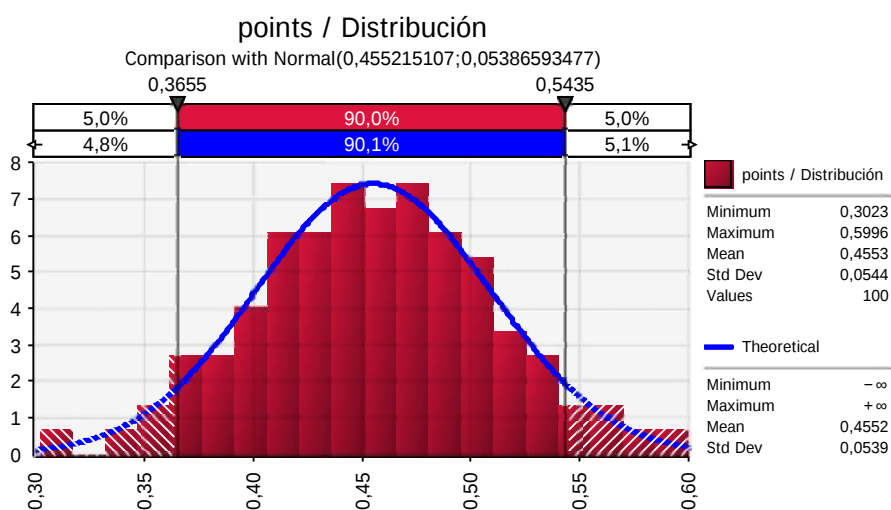
Capa de ozono



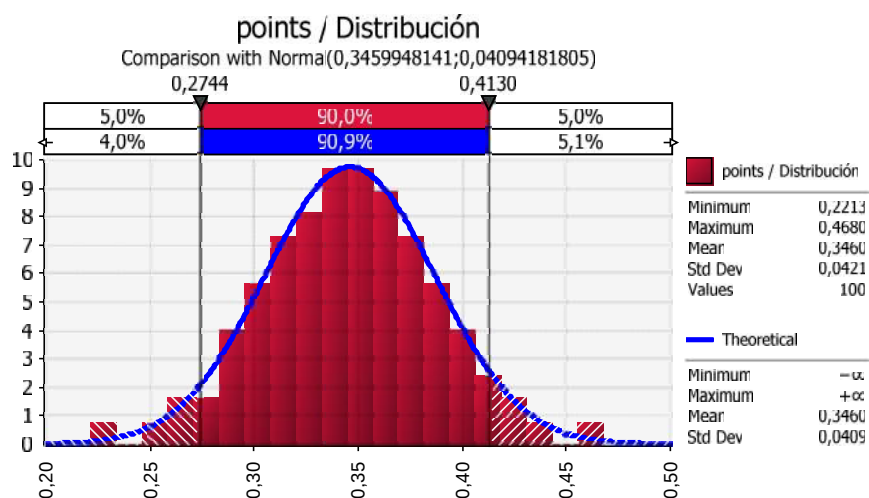
Toxicidad Humana



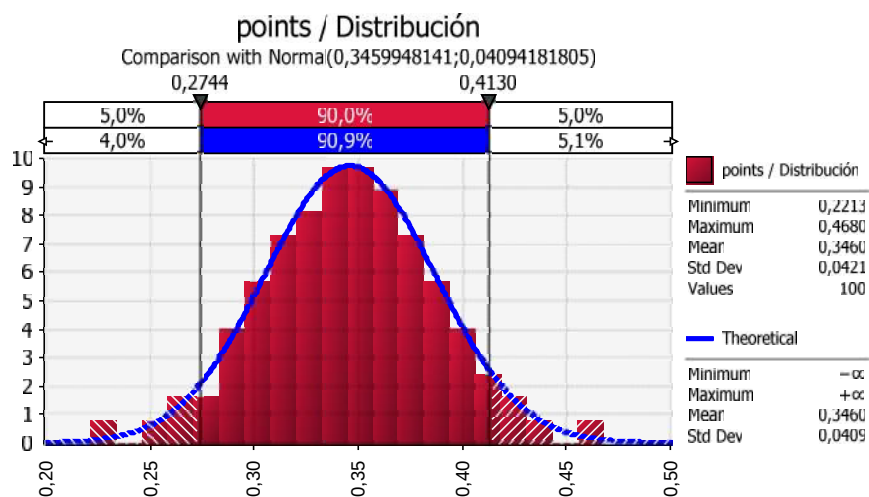
Agotamiento de Recursos



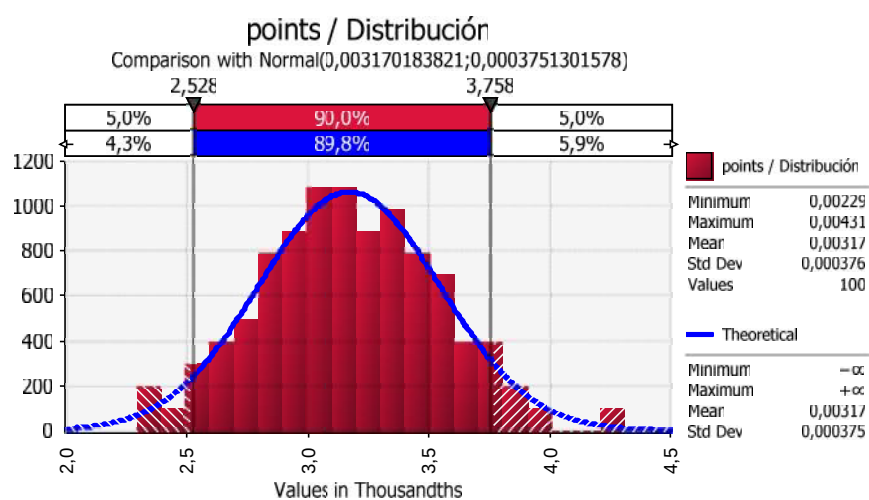
Calentamiento Global



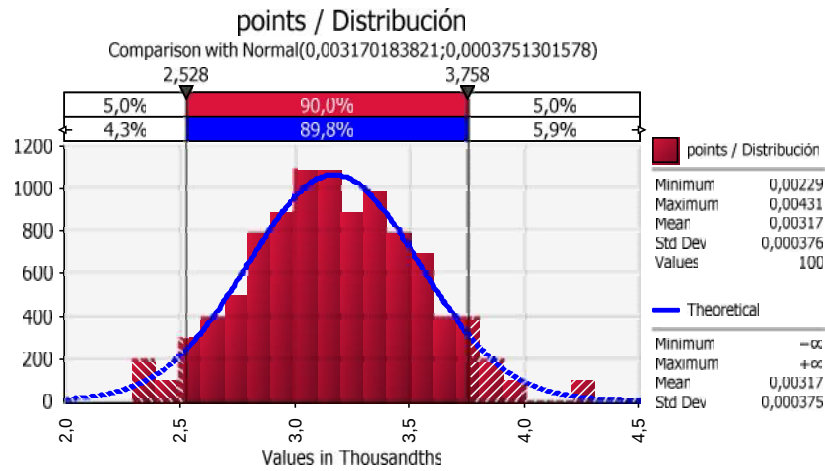
Eutrofización



Toxicidad Marina



Acidificación



Uso del Agua

